

확률론적 손상을 고려한 VLCC 잔류 종강도 평가

남지명¹·정준모¹·박노식^{2,†}
인하대학교 조선해양공학과¹
울산대학교 조선해양공학과²

Residual Longitudinal Strength of a VLCC Considering Probabilistic Damage Extents

Ji-Myung Nam¹·Joonmo Chung¹·Ro-Sik Park^{2,†}
Department Naval Architecture and Ocean Engineering Inha University¹
Department Naval Architecture and Ocean Engineering University of Ulsan²

Abstract

This paper provides prediction of ultimate longitudinal strengths of hull girder of a VLCC considering probabilistic damage extents due to collision and grounding accidents based on IMO Guideline(2003). The probability density functions of damage extents are expressed as a function of nondimensional damage variables. The accumulated probability levels of 10%, 30%, 50%, and 70% are taken into account for the damage extent estimation. The ultimate strengths have been calculated using in-house software UMADS (Ultimate Moment Analysis of Damaged Ships) which is based on the progressive collapse method. Damage indices are provided for all heeling angles due to any possible flooding of compartments from 0° to 180° which represent from sagging to hogging conditions, respectively. The analysis results reveal that minimum damage indices show different values according to heeling angles and damage levels.

Keywords : Collision(충돌), Grounding(좌초), Probabilistic damage(확률론적 손상), Residual longitudinal strength(잔류 종강도)

1. 서론

해상에서 선박의 충돌 및 좌초는 끊임없는 방지 노력에도 불구하고 빈번히 발생하고 있다. 원유 운반선, 화학 운반선과 같은 선박에 있어서 충돌 및 좌초 사고는 구조 손상뿐만 아니라 주변 환경까지 위협하게 된다. 따라서 이러한 선박 사고의 발생에 대해서 환경 오염을 줄이고 구조 안전 강화를 위해 선박의 구조 설계와 규정 개발의 필요성이 증가하고 있는 추세이다.

선박은 충돌 또는 좌초로 인한 침수 및 횡경사된 상태에서도 주변 항구에 피항을 위한 최소한의 종강도를 가져야 한다. 이러한 최소한의 강도를 통상적으로 잔류 종강도라 한다. 따라서 잔류 종강도의 증명은 매우 중요하다. 국제해사기구(IMO, International maritime organization) 신개념 선박건조기준(GBS, goal based standard)은 선박의 종강도 뿐만 아니라 충돌 및 좌초로 인한 중대 손상(major damage)후에 선박의 잔류 종강도(residual longitudinal strength)가 비손상 종강도에 비하여 현저히 저하하지 않도록 선급 규정(Tier IV)의 개정을 요구하고 있다.

International Maritime Organization Guideline (2003)은 충돌 및 좌초와 같은 사고로 인한 원유 유출량을 계산하기 위해 확률론적 손상 크기를 제시하고 있다. 이는 원유 운반선, 화학 운반선, 광석 운반선 등 30,000ton 이상 선박의 충돌 사고(52건)와 좌초 사고(63건)를 통계 분석하여 손상의 종류에 따른 손상 크기

를 확률밀도함수(PDF, probability density function)로 제시하고 있다. Pedersen and Zhang (2000)은 IMO Guideline (2003)이 대형 상선의 좌초에 의한 손상 크기를 과소 평가할 수 있음을 지적하기도 하였지만, 선박의 확률론적 손상 크기를 규정하기 위한 거의 유일한 자료로 인정받고 있다. Chung, et al. (2011)은 IMO Guideline (2003)과 손상관련 참고문헌을 인용하여 대형 유조선(VLCC) 및 대형 산적화물선의 충돌 및 좌초로 인한 손상의 크기를 제시한바 있다.

점진 붕괴법(PCM, progressive collapse method)은 선체에 작용하는 선체 굽힘 모멘트의 곡률을 점진적으로 증가시키면서 굽힘 모멘트와의 관계를 찾아가는 증분 반복법(incremental-iterative approach)으로 통상 Smith법(Smith, 1977)을 기반으로 한다. 현재 IACS (2010a, b)에서는 비손상 선박 즉 대칭 단면에만 적용이 가능한 알고리즘을 제시하고 있다. 전세계의 많은 연구자들이 비대칭 단면에 적용이 가능한 알고리즘을 제시하였지만, 모멘트로 인한 하중의 평형조건만을 고려하였거나, 또는 중립축과 모멘트 하중이 작용하는 축을 혼용하여 사용함으로써 역학적으로 불완전한 결과를 제시하였다(Gordo & Guedes Soares, 1996; Gordo & Guedes Soares, 1997; Gordo, et al., 1996; Fang & Das, 2004; Hussein & Guedes Soares, 2009; IACS, 2010a; IACS, 2010b; Jia & Moan, 2009; Khan & Das, 2008; Nielsen, 1998; Smith & Pegg, 2003).

따라서 본 논문에서는 비대칭 손상을 가지는 선박의 단면에 적용이 가능한 간이해석 프로그램을 개발하였고 손상 선박의 잔류 종강도를 계산하기 위해 IACS (2010a, b)에 따라 설계된 VLCC를 대상 선박으로 하였다. 확률론적 손상 크기에 따른 잔류종강도 예측을 위해 IMO Guideline (2003)에서 제시하는 확률밀도함수를 사용하였다. 손상 크기에 대한 확률 수준은 10%, 30%, 50%, 70%로 가정하였다. 잔류 종강도 평가를 위해 새김조건에서 호깅조건까지 15° 간격으로 잔류 종강도를 예측하였다. 또한 각각의 각도에 대한 손상후 잔류 종강도를 비손상 상태의 최종 종강도로 나눈 값인 손상 계수(damage index)로 표현하였다. 손상 계수를 각도별 및 손상 정도별로 나타내어 가장 종강도가 취약한 상태를 제시하였다.

2. UMADS의 특징

2.1 모멘트 평면

선체가 자유수면 대비 ϕ 만큼 횡경사된 경우, 선체에 작용하는 수직 굽힘 모멘트(여기서는 항상 중력 가속도 방향으로 작용하는 힘에 의한 모멘트를 의미)는 자유 수면과 항상 직교한다. 선체의 회전 대신에 모멘트 유발 하중(moment producing force)을 역회전(reverse rotation)시키면, 이로 인한 모멘트는 항상 모멘트 평면(moment plane)에 작용하며, 모멘트 평면은 항상 모멘트 유발 하중에 직교한다(Fig. 1 (b) 참조). 즉 대칭 단면과 비대칭 단면의 경우, 모멘트 평면(MP, moment plane)은 모멘트 유발 하중에 항상 직교한다. Fig. 1은 형상 대칭 선박을 보여주지만 전술한 바와 같이 하중이 비대칭이므로, 비대칭 단면으로 간주되어야 한다.(Choung & Kim, 2010)

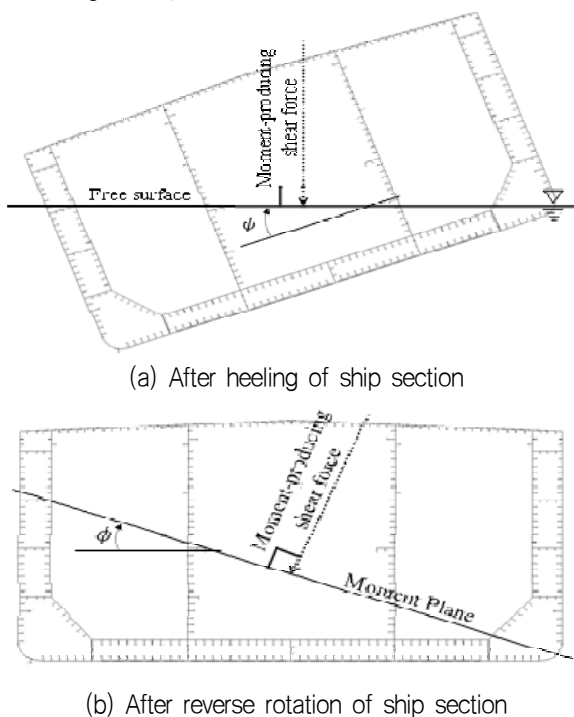


Fig. 1 Definition of moment plane

2.2 중립축 평면

단면에 작용하는 하중으로 인하여 단면의 그 어떤 요소도 비탄성 효과(인장의 경우 항복, 압축의 경우 좌굴을 의미)를 경험하지 않을 때 압축영역과 인장영역의 모멘트가 평형을 이루는 평면을 탄성 중립축 평면(elastic neutral axis plane, ENAP)으로 정의한다. 재료 대칭 가정하에서 탄성 중립축 평면은 항상 도심을 통과하지만 모멘트 평면과 항상 평행하지는 않다. 전술한 3가지 대칭성이 모두 만족하는 경우에 탄성 중립축 평면은 도심을 통과하면서 모멘트 평면과 평행하다. 반면 단면 요소의 일부 또는 전체가 비탄성을 경험할 경우 모멘트 평형을 이루는 평면을 비탄성 중립축 평면(inelastic neutral axis plane, INAP)으로 정의한다. 단면을 이루는 요소는 모멘트가 유발한 압축 하중이 가해질 경우 항복에 도달하기 전에 좌굴을 경험한다. 따라서, 인장 하중이 가해질 경우 달리 비대칭적인 평균 압축강도(average compressive strength) 특성을 나타낸다(Fig. 2참조). 이러한 이유로 비탄성 중립축 평면은 일반적으로 도심을 통과하지 않으며(중립축의 이동) 또한 모멘트 평면과 평행하지 않을 수 있다(중립축의 회전). (Choung & Kim, 2010)

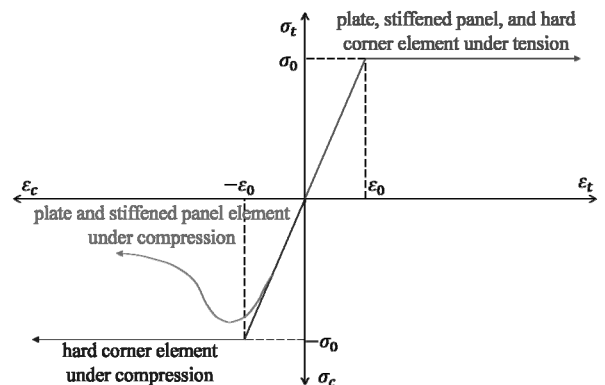


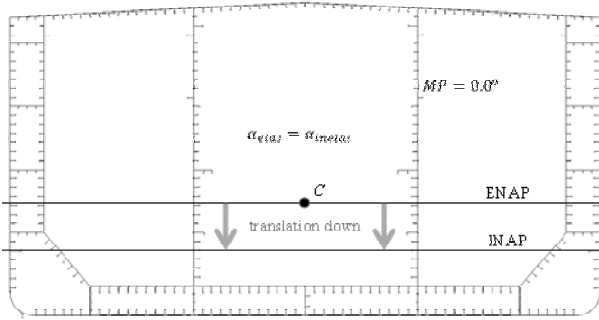
Fig. 2 Asymmetry in average compressive and tensile strengths of plate, stiffened panel, and hard corner elements

2.3 수렴 조건

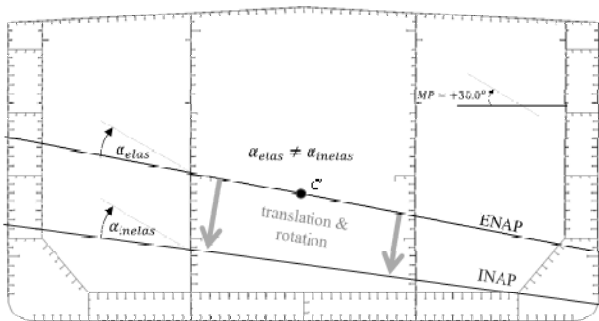
Choung and Kim (2010)은 선박 단면의 대칭성을 세 가지(재료 대칭, 형상 대칭, 하중 대칭)로 정의하였다. 예를 들어 Fig. 3(a)에 나타난 바와 같이, 세 가지 대칭 조건을 모두 만족하는 단면에 새김 모멘트가 작용할 경우, 탄성 중립축 평면은 단면의 도심을 통과하고 모멘트 평면과 평행하다. 그러나 곡률이 증가하여 단면의 임의의 요소가 좌굴 또는 항복을 경험한다면 중립축은 탄성 중립축을 벗어나 아래로 이동하게 된다. 즉, 비탄성 중립축은 모멘트 평면과 평행하게 아래로 이동하게 된다.

그러나 3가지 대칭조건 중 단 한 가지라도 만족를 하지 못한다면, 보강판 요소의 평균 압축 강도 비대칭성은 중립축의 이동과 회전을 동시에 유발한다.(Fig. 3(b)) 탄성 중립축 평면은 도심을 통과하지만 더 이상 모멘트 평면과 평행하지 않으며 비탄성 중립

축 평면 또한 도심을 통과하지도 않고 모멘트 평면과 평행하지도 않는다. 따라서 비탄성 중립축 평면은 탄성 중립축 평면으로부터 이동과 회전을 하기 시작한다.



(a) Under three symmetry conditions



(b) Under geometry symmetry conditions

Fig. 3 Mobility of NAP

IACS CSR (2010a, b)에 이러한 대칭성에 관한 언급은 없지만, 모든 대칭을 만족하는 경우에만 적용이 가능한 알고리즘을 제공하고 있다. PCM을 기반으로 하는 많은 연구에서, 비대칭 단면의 강강도를 예측하기 위하여 식 (1)과 같은 하중 평형 조건만 사용하였다(Gordo & Guedes Soares, 1996; Gordo & Guedes Soares, 1997; Gordo, et al., 1996; Fang & Das, 2004; Hussein & Guedes Soares, 2009; IACS, 2010a; IACS, 2010b; Jia & Moan, 2009; Khan & Das, 2008; Nielsen, 1998; Smith & Pegg, 2003). 그러나 비대칭 단면의 경우 미지수가 2개(중립축의 이동량과 회전 각도)이므로, 한 개의 평형조건을 가지고는 중립축 탐색이 원론적으로 불가능하다. 이러한 이유로 탄성 상태의 중립축을 설정한 후 수평 이동을 하는 등의 방법을 적용하기도 하였다.

$$\left| \frac{F_c - F_t}{F_c + F_t} \right| \leq \xi_T \quad (1)$$

$$\frac{\pi}{2} - \xi_R \leq \cos^{-1} \left(\frac{\vec{F} \cdot \vec{M}}{|\vec{F}| |\vec{M}|} \right) \leq \frac{\pi}{2} + \xi_R \quad (2)$$

F_c : 중립축으로 분할된 압축하중을 받는 단면의 합력

F_t : 중립축으로 분할된 인장하중을 받는 단면의 합력

ξ_T : 하중 평형 수렴 조건

ξ_R : 하중 벡터 수렴 조건

Fig. 4는 보강패널을 비대칭적으로 배치된 가상의 선체 단면을 나타낸다. 이때 중립축으로 분할된 압축하중과 인장하중을 받는 단면의 합력의 중심을 C_c 와 C_t 로 정의하고, 이 두 중심을 연결하는 벡터를 하중 중심벡터 \vec{F} 로 정의한다. 모멘트 평면 0도에서 새김 모멘트 벡터 \vec{M} 이 비대칭 단면에 작용한다고 가정하면, ENAP 또는 INAP는 MP와 평행하지 않지만, 중심 C_c 로부터 C_t 를 연결하는 하중중심 벡터 \vec{F} 는 모멘트 벡터 \vec{M} 와 항상 직교해야 한다(Boresi, et al., 1992).

본 논문에서 사용된 PCM 프로그램에서는 압축 및 인장 하중의 평형을 유지하기 위해 수렴 계수 ξ_T 를 사용하였으며, 허용 오차율 1.0%로 적용하였다. 식 (2)는 하중 벡터 평형 조건으로 수렴 조건 ξ_R 를 사용하였으며, 1.0로 설정하였다.

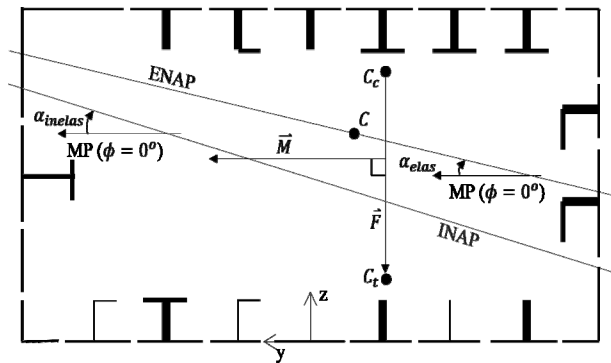


Fig. 4 Schematic for new convergence criterion

3. 확률론적 손상 접근법

본 논문에서 사용한 프로그램인 UMADS(ultimate moment analysis of damaged ships)는 중립축의 이동과 회전에 대한 수렴 조건뿐만 아니라, IMO Guideline (2003)에서 제시하는 손상 PDF를 내장하여 개발되었다.

Fig. 5-6은 각각 충돌에 의한 무차원 손상 깊이 PDF와 수직 손상 크기 PDF를 나타낸다. 여기서 무차원 손상 깊이와 수직 손상 크기는 각각 손상의 깊이를 피충돌선 선박의 폭으로 나눈 값과 손상의 수직 크기를 피충돌선의 높이로 나눈 값을 의미한다.

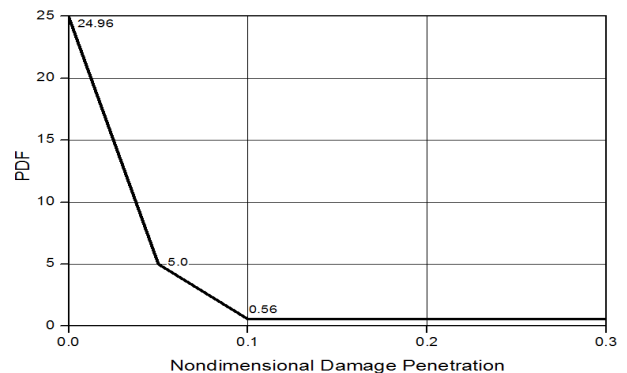


Fig. 5 PDF of non-dimensional damage penetration due to collision

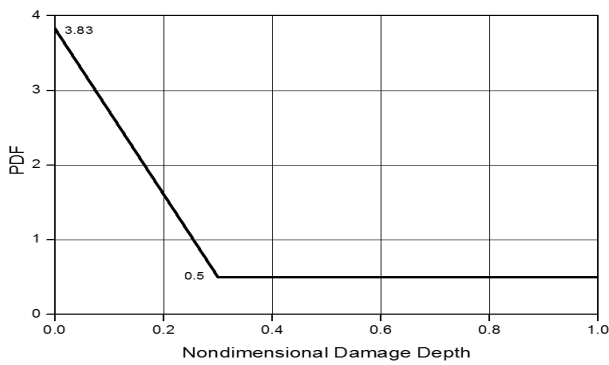


Fig. 6 PDF of non-dimensional vertical damage depth due to collision

Fig. 7-8은 각각 좌초로 인한 무차원 손상 폭 PDF와 수직 손상 크기 PDF를 나타낸다. 여기서 무차원 손상 폭은 손상의 폭을 피충돌선의 폭으로 나눈 무차원 변수를 의미한다. 그리고 무차원 수직 손상 크기는 손상의 수직 크기를 좌초 선박의 높이로 나눈 무차원 변수를 의미한다.

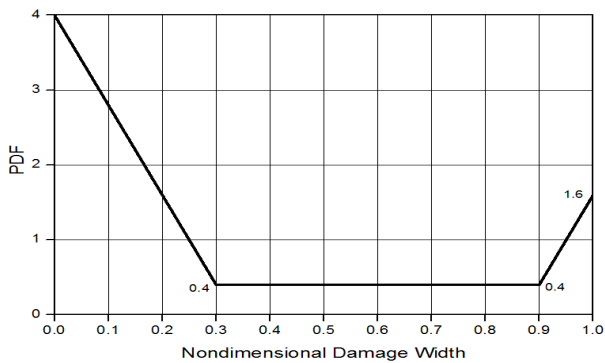


Fig. 7 PDF of non-dimensional damage width depth due to grounding

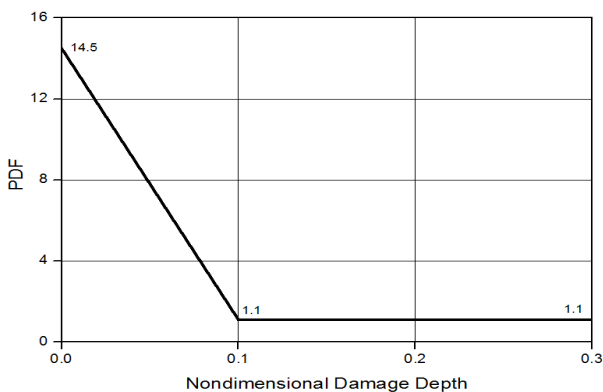


Fig. 8 PDF of non-dimensional vertical damage depth due to grounding

4. 손상 선박의 잔류 종강도 해석

4.1 손상의 정의

본 논문에서는 Table 1과 같은 주요 치수를 가지는 VLCC를

대상으로 IMO Guideline (2003)에서 제시하는 확률론적 손상을 적용하였다. 손상의 크기는 10%, 30%, 50%, 70% 확률 수준을 적용하였으며, 보강판 패널의 평균압축강도 예측을 위해서 IACS (2010a, b)에서 제시하는 간이식을 사용하였다.

Table 1 Dimensions of the VLCC(unit : m)

L_{BP}	B	D	T_{SC}	α
320	60	30.5	22.5	5.68

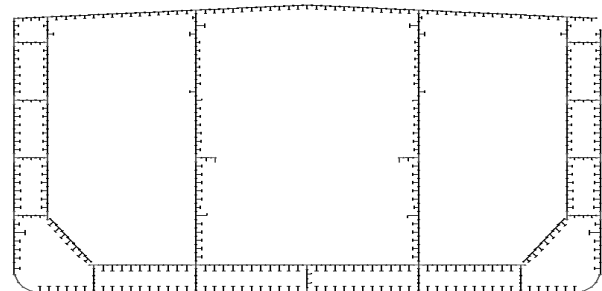
여기서

- L_{BP} : 수선 간장
- B : 선폭
- D : 깊이
- T_{SC} : 구조강도 만재할수
- α : 프레임 간격

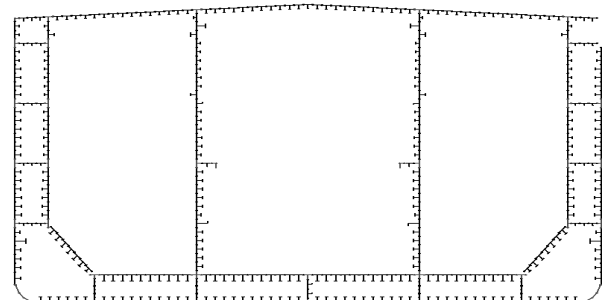
Table 2에 확률론적 손상 수준에 따른 충돌 및 좌초의 손상 크기를 나타내고 있다. 각각의 확률수준에 대해서 Fig. 9는 충돌에 의한 손상 크기를 나타내며 Fig. 10에서는 좌초로 인한 손상 크기를 도식적으로 나타내고 있다.

Table 2 Comparison of collision and grounding damage extents

Probabilistic level	Collision		Grounding	
	damage width	damage depth	damage width	damage depth
10%	0.0041B	0.0268D	0.0261B	0.0069D
30%	0.0135B	0.0890D	0.0867B	0.0229D
50%	0.0252B	0.1727D	0.1680B	0.0042D
70%	0.0429B	0.3935D	0.4104B	0.0722D



(a) 10%



(b) 30%

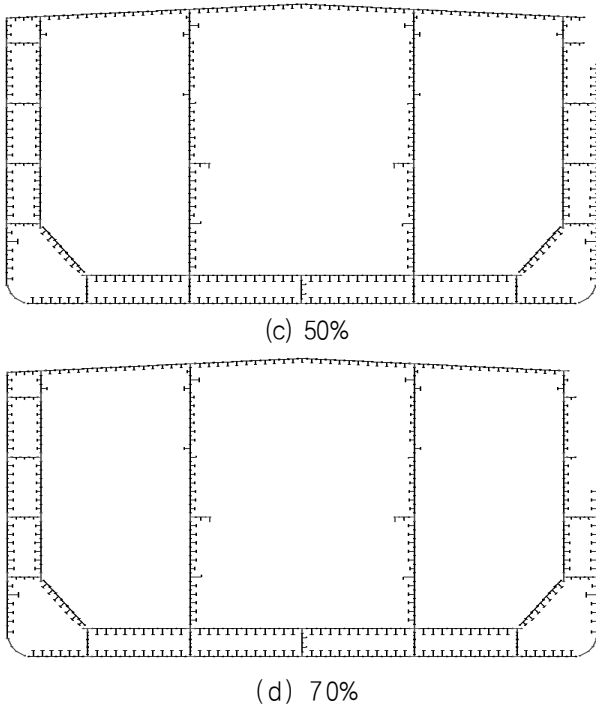


Fig. 9 Comparison of collision-induced damages(IMO)

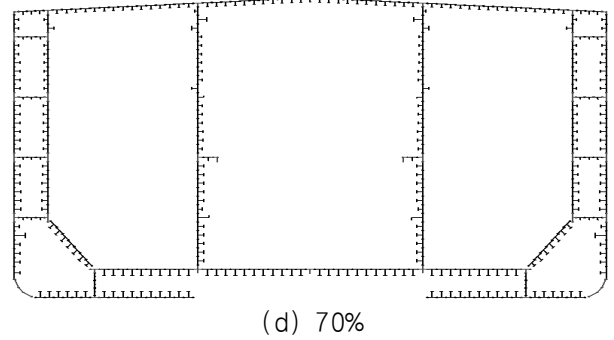
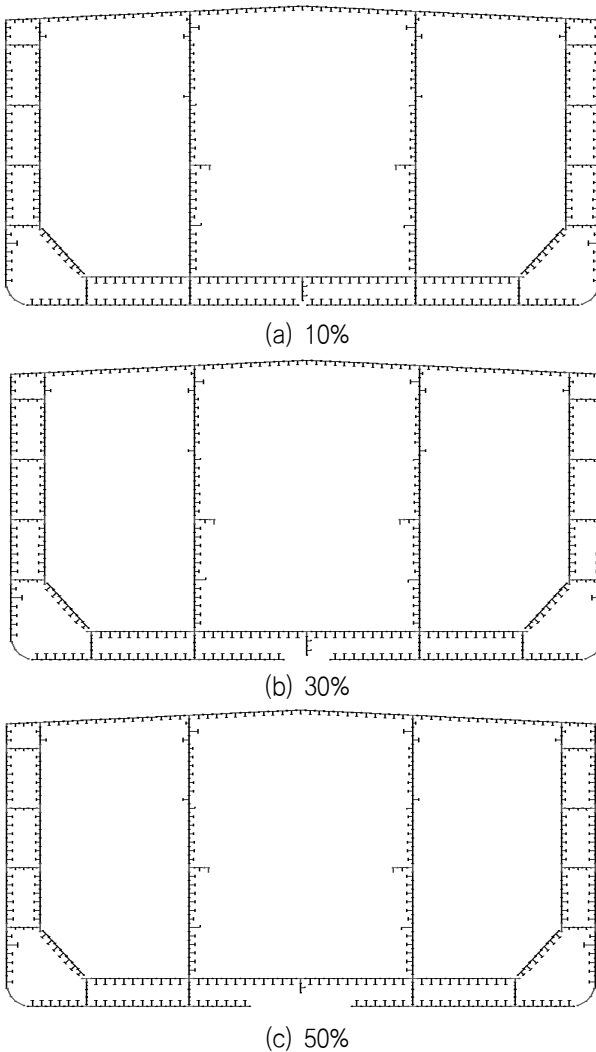
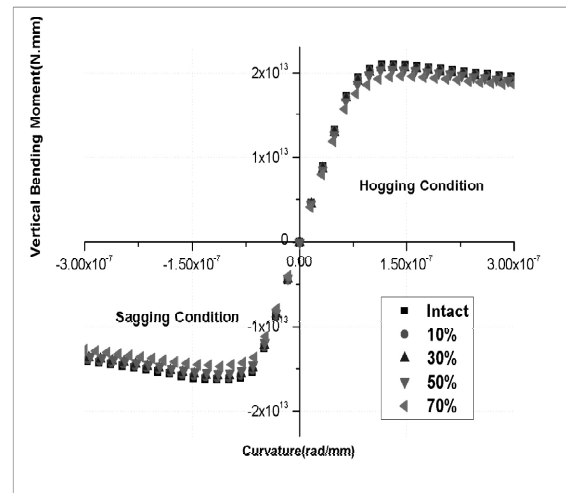


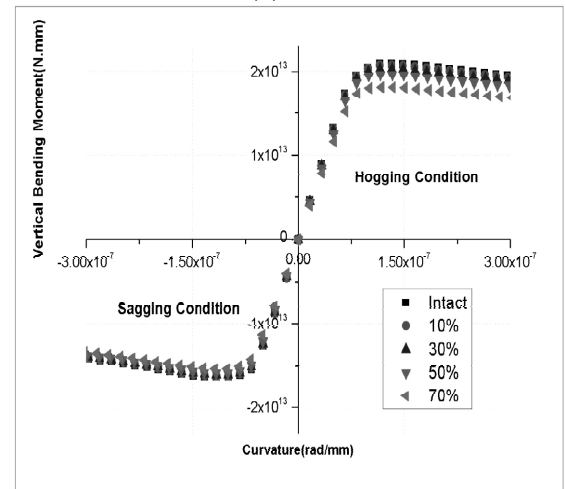
Fig. 10 Comparison of grounding-induced damages(IMO)

4.2 잔류 종강도 평가(완전 대칭 단면)

손상도 없고 모멘트도 대칭적으로 작용하는 경우에 대하여 손상 수준에 따른 종강도를 평가하였다. 모멘트는 호깅 및 새깅 조건을 고려하였다. Fig. 11(a)와 (b)에서 확인할 수 있는 바와 같이, 충돌 또는 좌초에 관계없이 확률 수준이 높을수록 최종 굽힘 모멘트가 감소함을 확인할 수 있다.



(a) collision



(b) grounding

Fig. 11 Comparison of moment curvature curves for intact and damaged conditions

Table 3은 새김 및 호킹 조건에서 비손상 조건을 기준으로 각각의 손상 확률 수준에 대한 종강도의 감소율, 즉 손상계수를 비교하여 나타내고 있다. 여기서 손상계수는 식 (3)을 이용하여 계산되었다. 식(3)은 횡경사각 ϕ 에서 비손상 상태의 최종강도와 손상 상태의 최종잔류 종강도의 비를 나타낸다.

Table 3을 관찰해보면, 충돌의 경우 호킹보다 새김 모멘트가 작용할 경우 종강도의 감소가 크게 발생하였다. 반면 좌초의 경우 호킹 모멘트에 더욱 취약한 것을 알 수 있다. 손상 수준에 관계없이 좌초 손상 조건에서 종강도의 감소율은 호킹 모멘트 작용 시 가장 크게 발생하였다.

$$\lambda = \frac{M_u' |_{\phi}}{M_u |_{\phi}} \quad (3)$$

여기서

$M_u |_{\phi}$: 횡경사각 ϕ 를 가지는 비손상 조건에서의 최종강도

$M_u' |_{\phi}$: 횡경사각 ϕ 를 가지는 손상 조건에서의 최종잔류종강도

λ : 손상 계수

Table 3 Comparison of damage index for intact and damaged conditions

Condition	Collision		Grounding	
	sagging	hogging	sagging	hogging
Intact	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00
10%	9.88E-01	9.95E-01	9.94E-01	9.95E-01
30%	9.82E-01	9.90E-01	9.88E-01	9.76E-01
50%	9.51E-01	9.76E-01	9.75E-01	9.38E-01
70%	8.96E-01	9.38E-01	9.39E-01	8.65E-01

4.3 잔류 종강도 평가(임의 횡경사)

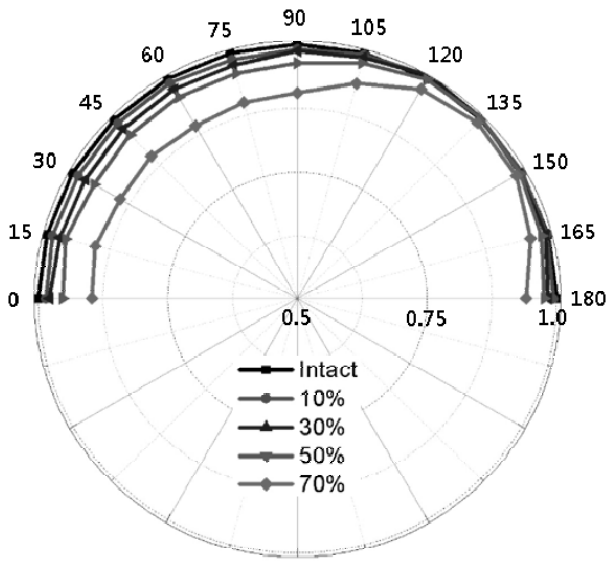
0°(새김조건)에서 180°(호킹조건)까지 15°간격으로 모멘트 평면(횡경사각)을 설정하고 잔류 종강도 평가를 수행하고 Fig. 12와 Table 4-5는 횡경사각 및 확률 수준에 따른 손상계수를 식 (3)을 이용하여 도출하였다. 충돌 손상과 횡경사각이 0°~30°일 경우 손상계수가 가장 작게 나타났다. 이는 손상 부분이 중립축으로부터의 먼 직교 거리를 가지는 경우에 해당하며, 이 경우 단면계수의 손실이 가장 크기 때문에 추정된다. 반면 충돌 손상과 횡경사각이 120°~135°일 경우 손상계수의 감소가 작게 나타내는데 손상 부분이 중립축 부근에 위치하기 때문에 추정된다. 좌초 손상과 모멘트 평면 180°(호킹)일 경우 손상 계수가 가장 작게 나타나며, 이는 선저부의 손상 때문으로 추정된다.

Table 4 Damage index for collision condition

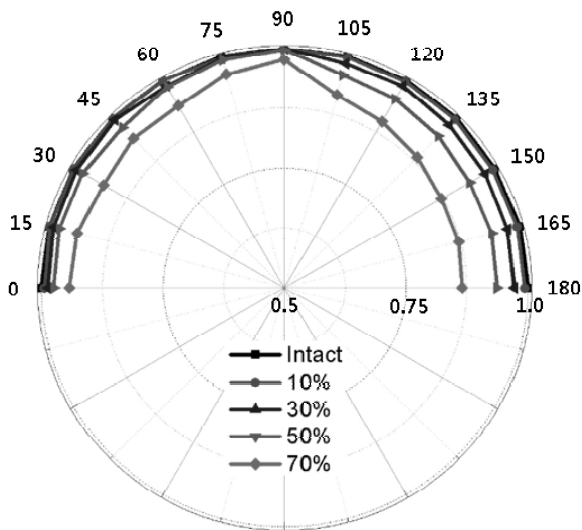
Moment Plane	Probability Level				
	Intact	10%	30%	50%	70%
0	1.000	0.985	0.978	0.953	0.897
15	1.000	0.989	0.974	0.963	0.904
30	1.000	0.988	0.972	0.953	0.895
45	1.000	0.990	0.974	0.957	0.899
60	1.000	0.991	0.976	0.959	0.894
75	1.000	0.987	0.976	0.959	0.900
90	1.000	0.991	0.987	0.964	0.905
105	1.000	0.997	0.991	0.980	0.938
120	1.000	1.007	1.007	0.998	0.976
135	1.000	1.002	1.002	1.003	0.991
150	1.000	1.000	0.994	0.995	0.988
165	1.000	0.998	0.996	0.987	0.965
180	1.000	0.993	0.984	0.975	0.941

Table 5 Damage index for grounding condition

Moment Plane	Probability Level				
	Intact	10%	30%	50%	70%
0	1.000	0.993	0.986	0.974	0.942
15	1.000	0.999	0.991	0.978	0.940
30	1.000	0.999	0.993	0.979	0.930
45	1.000	0.999	0.995	0.972	0.941
60	1.000	1.000	0.986	0.983	0.938
75	1.000	0.997	0.996	0.992	0.962
90	1.000	1.001	0.999	0.997	0.976
105	1.000	0.998	0.985	0.960	0.916
120	1.000	0.997	0.986	0.954	0.900
135	1.000	0.996	0.979	0.947	0.886
150	1.000	0.995	0.977	0.940	0.872
165	1.000	0.995	0.975	0.941	0.871
180	1.000	0.993	0.973	0.937	0.866



(a) collision



(a) grounding

Fig. 12 Damage index diagram

5. 결과

본 논문에서는 점진 붕괴법을 이용하여 충돌 및 좌초 손상을 입은 VLCC의 잔류 종강도를 평가하였으며, 다음과 같은 결론을 제시하고자 한다.

첫째, IMO Guideline (2003)에서 제시하는 확률론적 손상을 적용하였으며, 비손상 조건과 함께 누적확률밀도함수를 10%, 30%, 50%, 70%로 가정하여 손상을 정의하였다.

둘째, 잔류 종강도를 계산하기 위해서 점진 붕괴해석법을 적용한 간이해석 프로그램 UMADS를 개발하였다. UMADS는 중립축

의 이동뿐만 아니라 회전까지 고려할 수 있도록 신개념 수렴 조건을 탑재하였으며, 비손상 선박뿐만 아니라 손상을 가지는 비대칭 단면에 적용이 가능하도록 개발되었다.

셋째, 선체 종강도의 감소율을 평가하기 위해서 손상 계수의 개념을 도입하였으며, 손상의 종류, 손상의 확률수준, 횡경사 각도에 따른 손상계수를 제시하였다.

추후 연구로서 유한요소해석과의 비교평가가 수행되어야 하며, 컨테이너선 등에 적용하기 위해서는 뒤틀림 응력을 고려할 수 있는 알고리즘의 개발이 필요하다.

후기

본 논문은 국토해양부의 지원으로 수행한 해양에너지 전문인력 양성사업의 연구결과입니다. 또한 울산대학교 연구비 지원에 감사 드립니다.

참고 문헌

- Boresi, A.P. Schmidt, R.J. & Sidebottom, O.M., 1992. *Advanced mechanics of materials*. 5th Ed. John Wiley & Sons: new York.
- Chung, J & Kim Y.H., 2010. Study on Section Properties of Asymmetric-Sectioned Vessels. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 47(6), pp843 - 849
- Chung, J. Lee, M.S. Nam, J.M. & Ha, T.B., 2011. Damage Estimation of Large-Sized Vessels due to Ship-to-Ship Collisions and Ship Groundings. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 48(1), pp.33-41.
- Fang, C. & Das, P.K., 2004. Hull girder ultimate strength of damaged ships. *In: Proceedings of the Ninth Symposium on Practical Design of Ships and Other Floating Structures (PRADS)*, Luebeck-Travemuende, Germany, pp.309-316.
- Gordo, J.M. & Guedes Soares, C., 1996. Approximate method to evaluate the hull girder collapse strength. *Marine Structures*, 9(1), pp.449-470.
- Gordo, J.M. & Guedes Soares, C., 1997. Interaction equation for the collapse of tankers and container ships under combined bending moments. *Journal of Ship Research*, 41(3), pp.230-240.
- Gordo, J.M. Guedes Soares, C. & Faulkner, D., 1996. Approximate assessment of the ultimate longitudinal strength of the hull girder. *Journal of Ship Research*, 4(1), pp.60-69.
- Hussein, A.W. & Guedes Soares, C., 2009. Reliability and residual strength of double hull tankers designed according to the new IACS common structural rules. *Ocean Engineering*, 36(17,18), pp.1446-1459.

- International Association of Classification Societies (IACS), 2010a. *Common Structural Rules for Double Hull Oil Tankers*. [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 Bulk Carriers*. [Online] (Updated July 2010) Available at: <http://www.iacs-data.org.uk/> [Accessed August 2010].
- 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.
- Jia, H. & Moan, T., 2009. Reliability analysis of oil tankers with collision damage. *In: Proceedings of the 27th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering (OMAE)*, Paper no. OMAE2008-57102, pp.55-63.
- Khan, I.A. & Das, P.K., 2008. Reliability analysis of intact and damaged ships considering combined vertical and horizontal bending moments. *Ships and Offshore Structures*, 3(4), pp.371-384.
- Nielsen, L.P., 1998. *Structural Capacity of the Hull Girder*. Ph.D. Dissertation, Technical University of Denmark.
- Pedersen, P.T. & Zhang, S., 2000. Effect of Ship Structure and Size on Grounding and Collision Damage Distributions. *Ocean Engineering*, 27(11), pp.1161-1179.
- Smith, C.S., 1977. Influence of local compression failure on ultimate longitudinal strength of a ship hull. *In: Proceeding of International Symposium on Practical Design in Shipbuilding (PRADS)*, Tokyo, Japan, pp.73-79.
- Smith, M.J. & Pegg, N.G., 2003. Automated assessment of ultimate hull girder strength. *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, 125(3), pp. 211-218.



남지명



정준모



박노식