

재화중량 500톤 미만 유조선의 이중저구조기준 연구

A Study on Double Bottom Structural Criterion of Oil Tanker under DWT 500

이상갑^{†*}, 윤여훈*, 배준영*
Lee Sang-Gab^{†*}, Yoon Yeo-Hoon*, Bae Jun-Yong*

ABSTRACT

With the effectuation of the amendment of MARPOL 73/78 on 5 April 2005, enforcement regulations of Marine Pollution Prevention Act were revised in domestic on 12 March 2005 that double hull structure was required to the small single bottom oil tankers under DWT(deadweight tonnage) 500 ton for the protection of the marine pollution casualties. The objective of this study is to develop the double bottom structure of small oil tanker under DWT 500 ton with superior crashworthiness and to establish its suitable standard to double bottom structure. The promoting strategy of this R&D is classified into the crashworthy structural analysis of small oil tankers using LS/DYNA3D code and the examination of their damage stabilities according to tonnage. It could be thought that the desirable inner bottom height should be above the $B/7.5$ and its minimum height 0.65m for the domestic small oil tanker under DWT 500ton.

※ **Keywords** : small oil tanker(소형유조선), double bottom structural criterion(이중저구조 기준), LS/DYNA3D, crashworthy structural analysis(내충격 구조해석), damage stability(손상 시 복원성)

* 한국해양대학교 조선해양시스템공학부
† 논문 주저자

1. 서 론

MARPOL 73/78의 개정 내용이 2005년 4월 5일 발효됨에 따라 국내에서는 2005년 3월 12일 해양오염방지법시행규칙을 개정하여 단일선체 유조선에 의한 해양오염사고 방지를 위하여 재화중량톤수 500톤 미만의 소형유조선에 대해서도 이중저구조 설치를 의무화하였다. 해양오염방지법시행규칙의 내용을 살펴보면 2010년 1월 1일 이후 인도되는 재화중량톤수 500톤 미만의 유조선은 해양수산부장관이 정하여 고시하는 소형선 이중저구조기준에 적합하여야 하고, 또한, 2010년 1월 1일 이전에 인도된 경우에도 2020년 1월 1일 전까지 소형선 이중저구조를 갖추도록 규정하고 있다. 다만, 해양수산부장관이 정하는 선박의 크기, 항행구역 및 선박의 구조 등에 관한 규정을 만족하는 경우 이중저 설치를 면제할 수 있도록 규정하고 있다. 본 연구개발의 목표는 내좌초에 우수한 500톤 미만의 소형유조선의 이중저구조를 개발하고 그에 적합한 이중저구조기준을 확립하는 것으로서 여기서는 그 결과들을 요약하고자 한다.

본 연구를 위하여 LS/DYNA3D(LSTC 2004) code를 이용한 내좌초 구조해석을 수행하였으며, 유조선 규모에 따른 손상 시 복원성을 검토하였다. 내좌초 구조해석을 위해서 미국 NSWC에서 수행한 유조선 좌초모형 실험결과(Rodd et al. 1995, Rodd 1996)들을 이용하여 LS/DYNA3D code 및 좌초 수치해석 능력을 검증하고, 국내 소형 단저 및 이중저 구조 유조선과 유조선 좌초모형 실험모형을 이용하여 내좌초에 우수하고 국내 소형유조선 이중저에 적합한 이중저구조 모델을 제안하여 톤급별 소형유조선 전선 내좌초 수치해

석 시뮬레이션을 수행하였다. 그리고 톤수별 소형 유조선 손상 시 복원성을 검토하기 위해 현재 국내 연근해에서 실제로 운항중인 재화중량톤수 500톤 미만의 단저구조 소형유조선 3척을 이중저 구조로 변경시킨 후 선폭의 변화에 따른 선박의 손상 복원성을 검토하였다.

2. LS/DYNA3D에 의한 수치해석 검증

충돌 및 좌초 등의 수치해석 시뮬레이션에서는 구조부재에 파단(fracture) 등이 발생하는 매우 복잡한 역학적 거동이 나타난다. 이러한 특성은 파단이 발생하는 부재의 두께(t)에 대한 유한요소 크기(L)의 비(L/t)와 재료의 파단변형률(failure strain) 등에 의해 영향을 받는다(Tornquist 2003). 본 연구에서는 NSWC의 5개 좌초실험 모델 Paul Buck, CONV/PD 328, ADH/PB, ADH/PD 328, ADH/PD 328V를 사용하여 상세(fine) 유한요소 모델과 개략적(rough) 유한요소 모델과의 거동을 비교하였으며, 재료의 파단변형률과의 관계도 함께 검토하였다.

상세 모델인 경우 두께에 대한 유한요소 크기 비를 10~15 정도, 개략적 모델인 경우 20~30 정도로 하였다. 선저모델의 재료는 ASTM 569로써 Cowper Symond 변형률의존(strain rate dependent) 재료를 사용하였으며, 파단 변형률은 0.20, 0.25, 0.30 및 0.35의 4가지를 사용하였다. 자중을 고려하여 수직방향은 구속하지 않고 전진방향으로만 직진하도록 구속하였다.

Fig. 1은 ADH/PD328V 모델의 좌초속도, 수평 및 수직 충격력응답에 대한 실험과 상세 및 개략

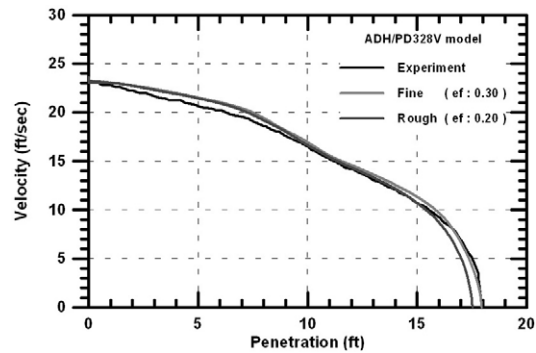
적 모델 시뮬레이션 결과를 비교하여 보여주고 있다. 이상의 결과들의 비교 검토를 통하여 본 연구에서 사용한 LS/DYNA3D code는 충분한 정도로 손상을 추정할 수 있고 본 연구진들도 연구를 수행하기에 충분한 해석능력을 갖추었다고 생각된다.

다. 내좌초 구조해석을 위해 가능한 한 상세 유한요소 모델과 파단변형률 0.3을 사용하고자 한다.

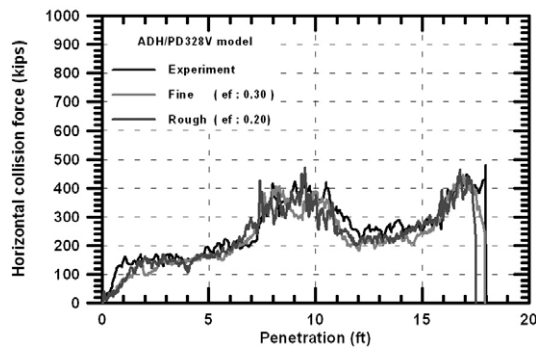
3. 우수한 내좌초 이중저구조 모델

국내 소형유조선 이중저구조에 적합하고 내좌초에 우수한 모델 제안과 톤수별 소형유조선의 이중저구조 설치에 따른 손상 시 복원성 검토를 위해 채택한 5척의 단저 및 이중저구조 유조선의 주요제원은 Table 1과 같다. 또한 국내 연안에 운항 중인 소형유조선의 재화중량(DWT), 길이(L), 선폭(B) 및 깊이(D)에 대한 분포는 Fig. 2와 같다.

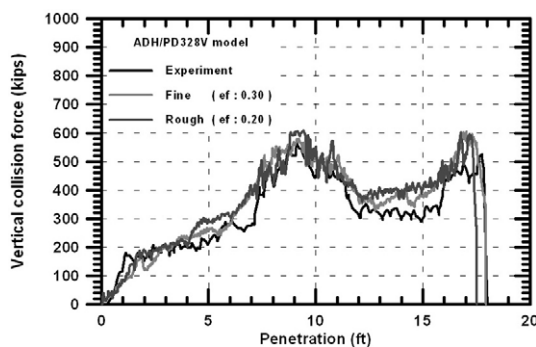
이와 같은 국내 소형유조선의 단저 및 이중저구조와 좌초실험 모델을 참조하여 재화중량 500톤급의 이상화한 이중저구조 소형유조선의 좌현 2개 화물창에 해당하는 Small oil tanker, Paul Buck, CONV/PD 328, ADH/PB, ADH/PD 328의 5가지 형태의 이중저구조 모델을 구축하였으며, 비슷한 중량을 갖도록 주요치수를 결정하였다.



(a) grounding velocity



(b) horizontal collision force

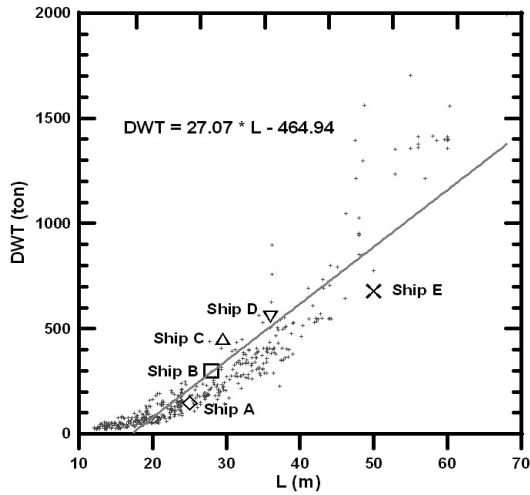


(c) vertical collision force

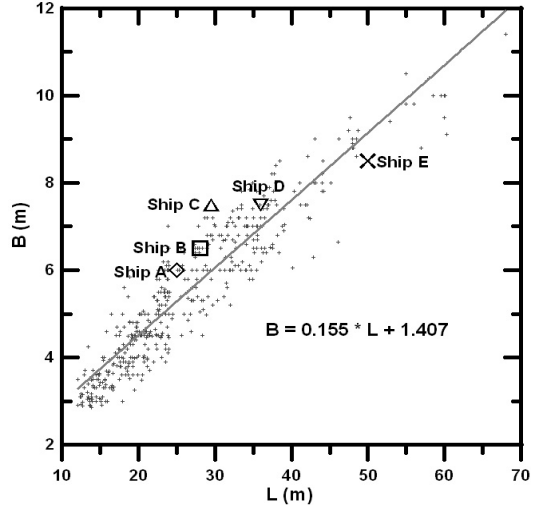
Fig. 1 Grounding responses of ADH/PD328V

Table 1 Principal dimensions of small oil tanker

	Ship A	Ship B	Ship C	Ship D	Ship E
L,O,A (m)	28,87	31,10	34,32	40,10	54,00
L,B,P (m)	25,00	28,00	29,50	36,00	50,00
B (m)	6,00	6,50	7,50	7,50	8,50
D (m)	2,20	3,20	3,80	4,00	4,10
draft (m)	1,87	2,80	3,50	3,40	3,70
GT (ton)	64,00	95,00	149,00	183,00	277,00
DWT (ton)	144,85	298,78	425,80	558,16	679,65
Bottom type	single	single	single	single	double

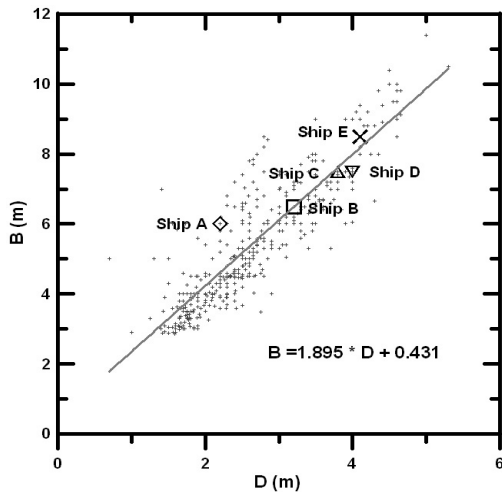


(a) DWT distribution according to length



(c) Breadth distribution according to length

Fig. 2 Distributions of domestic small oil tankers



(b) Breadth distribution according to depth

이상화 이중저구조 선저모델은 파단이 발생하는 부위의 부재 두께에 대한 유한요소 크기 비를 10~15 정도의 상세 유한요소로 모델링하였고, 파단변형률은 0.3을 사용하였다. 소형 유조선의 이중저구조의 시공과 유지관리를 위해 이중저구조의 늑골(frame)과 거어더(girder)에는 적어도 400×600mm 정도 크기의 홀(hole)이 필요하다.

해양오염방지법 시행규칙 제12조 3항 별표6의 18호의 재화중량 600톤 미만의 경우 이중저 높이가 0.65m 이상은 되어야 한다는 규정은 이러한 홀의 최소크기를 고려하였다고 사료되고, 재화중량 500톤 미만의 국내 소형유조선의 최소 이중저 높이도 0.65m가 타당하다고 생각된다.

암초(rock)가 이상화 이중저구조 선저모델의 폭 방향의 중앙과 중앙에서 벗어난 위치에서 부딪치는 시나리오를 고려하였다. 선저모델은 연강을 사용하였고, 초기 좌초속도는 15노트로 수행하였다. Fig. 3은 암초가 Small oil tanker 모델의 중앙에 부딪쳤을 때의 손상상태를, Fig. 4는 각 선저모델에 대한 좌초속도, 수평 및 수직 충격력응답을 보여주고 있다. Table 2에 내저판(inner bottom)에서의 암초의 진행거리(penetration), 파단발생 위치 및 파공 길이 등을 요약하였다. 예상과 달리 Small oil tanker와 CONV/PD328 선저모델이 ADH형의 이상화 선저모델에 비하여 내좌초에 우

수하다는 것을 알 수 있었고, 실선 소형유조선의 내좌초 구조해석과 손상 시 복원성능 검토는 Small oil tanker 선저모델을 채택하고자 한다.

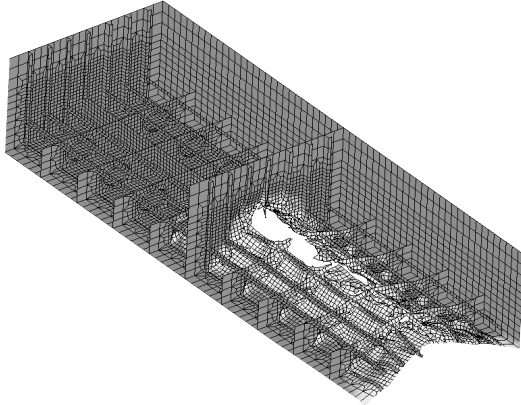
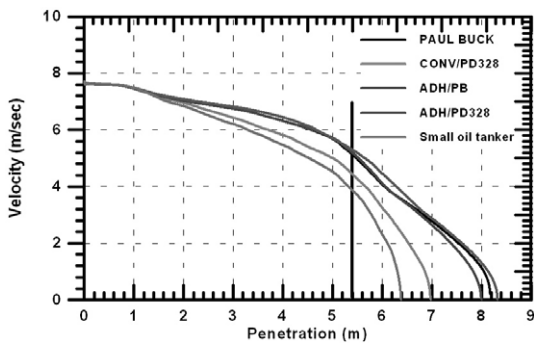
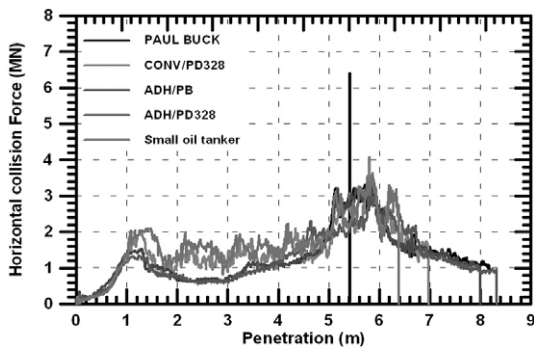


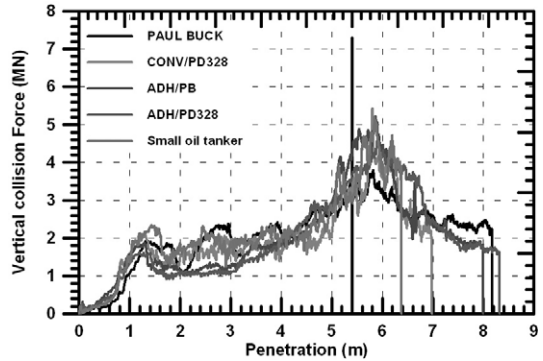
Fig. 3 Damage configuration of Small oil tanker without inner bottom



(a) grounding velocity



(b) horizontal collision force



(c) vertical collision force

Fig. 4 Grounding responses of idealized double bottom model(15 knots)

Table 2 Penetration, location and length of fracture at inner bottom (unit : m)

Item	Rock location	Small O.T.	Paul Buck	CONV/PD328	ADH/PB	ADH/PD328
Penetration	center	5.5	7.4	6.0	7.1	7.4
	off-center	5.8	6.9	6.3	6.7	7.4
Fracture location	center	4.7	4.6	4.8	5.0	5.8
	off-center	4.8	4.5	4.8	5.5	5.3
Fracture length	center	0.9	2.9	1.5	2.2	1.7
	off-center	1.1	2.7	1.6	1.6	2.4

4. 소형유조선 내좌초 구조해석

Table 1에서의 재화중량 500톤 미만 단저구조 유조선 Ship A, B 및 C를 소형강선규정에 의해 이중저구조로 설계변경(scantling)하여 실선 이중저구조 유조선의 내좌초 구조해석을 수행하였다. Ship A인 경우 이중저 높이가 0.65m인 이중저구조로, Ship B인 경우 0.65 및 0.75m인 이중저구조로, 그리고 Ship C인 경우 0.65, 0.75 및 0.85m인 이중저 구조로 설계변경 하였다.

암초와 이중저구조의 내저판과의 위치, 선체의 종방향 기울기, 하중상태, 선체의 좌초속도 등이 소형유조선 내좌초 구조해석 시나리오의 중요한 인자가 될 것이다. Fig. 5는 Ship C의 이중저 높이 0.65m인 경우의 등흘수상태에서의 몇 가지 시나리오를 보여주고 있다. 본 연구에서 수행한 각 내좌초 구조해석 시나리오에 대한 손상결과를 Table 3에 요약하였다. 각 시나리오의 case의 첫 영문자는 Ship C, B 및 A를, 두 번째 두 숫자는 이중저 높이를, 세 번째 영문자는 선박의 등흘수(Even keel)와 트림(Trim) 흘수상태를, 네 번째 영문자는 만재(Full loading)와 발라스트(Ballast) 하중상태를, 다섯 번째 두 숫자 또는 영문자는 내저판을 기준으로 한 암초의 상대적인 높이나 암초의 선저좌초를, 여섯 번째 영문자는 암초의 선체 폭 방향으로의 위치를, 마지막 두 숫자는 좌초선속을 나타낸다. 선체는 암초와의 좌초로 인한 좌우 회전운동은 무시하고 전진하는 것으로 가정하였다.

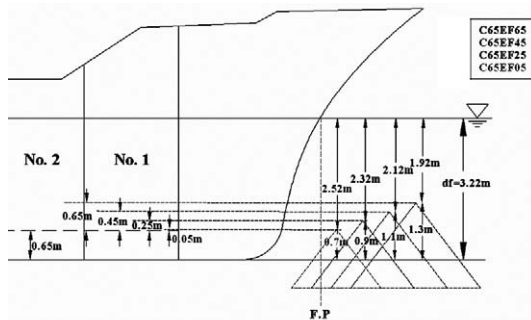
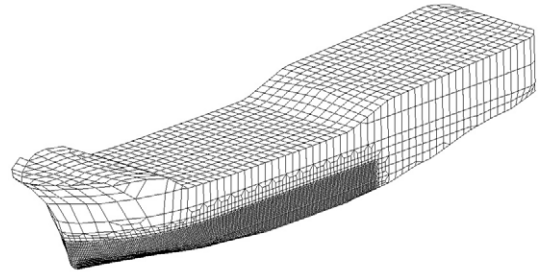


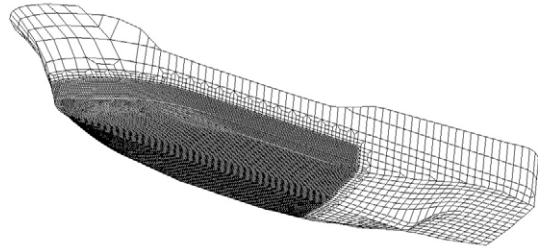
Fig. 5 Configuration of Ship C grounding scenario with 0.65m inner bottom

Fig. 6은 내좌초 구조해석을 위한 이중저구조 유조선의 유한요소 모델을 보여주고 있다. 선저로부터 좌초손상의 영향을 받는 높이까지, 그리고 선수 선저부로부터 기관실 선저부 앞까지는 상세

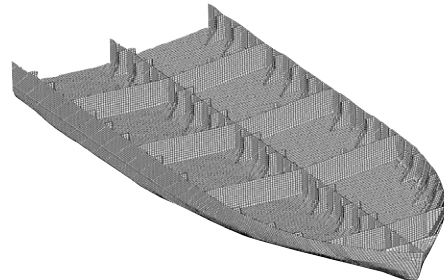
유한요소로 모델링하였고, 그 이외의 나머지 부분은 강체로 가정하였다. 재료 물성치는 변형률의존 연강을, 파단변형률은 0.3을 사용하였다.



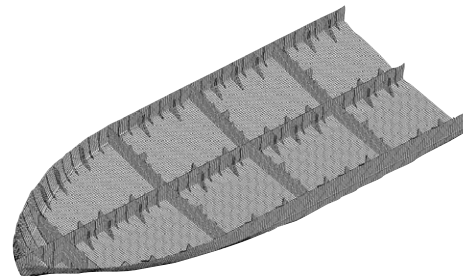
(a) isometric overview of small oil tanker



(b) upward overview of small oil tanker



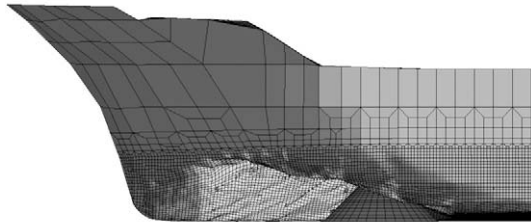
(c) deformable D.B. structure w/o inner bottom



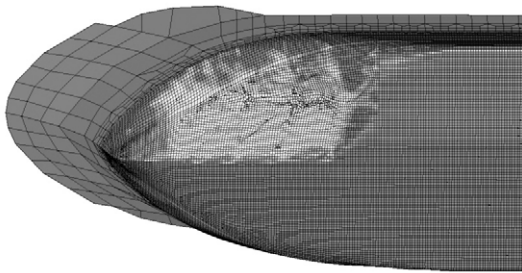
(d) deformable D.B. structure w inner bottom

Fig. 6 Configuration of F.E. small oil tanker ship

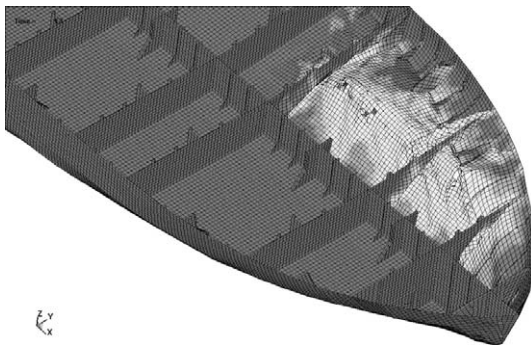
Fig. 7은 시나리오(C65EF65S15)의 손상선박의 (a)선측에서 바라본 그림, (b)선저에서 바라본 그림, (c)내저판을 위에서 내려다 본 그림 및 (d)내저판을 제거한 선저를 위에서 내려다 본 그림을 보여주고 있다. 각 소형유조선 Ship C, B 및 A의 손상결과를 구체적으로 암초의 전진거리(rock penetration length), 선저와 내저판의 파단여부 및 파단길이(fracture length) 등으로 수치화하여 Table 3에 요약하였다.



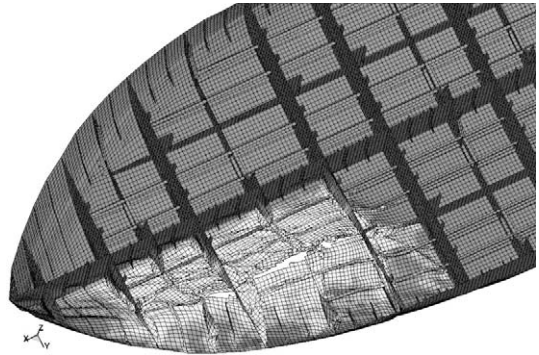
(a) side view



(b) bottom view



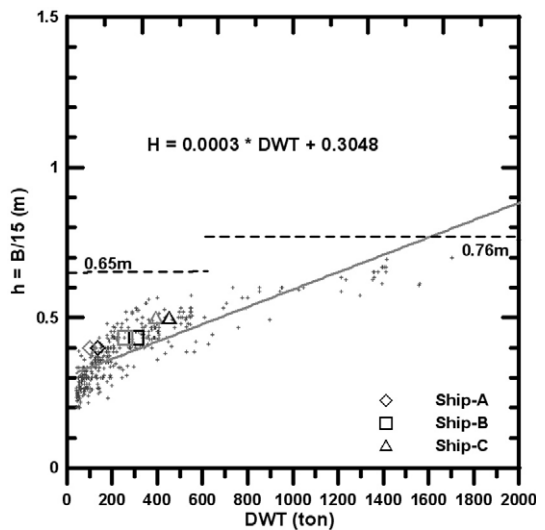
(c) inner bottom



(d) bottom without inner bottom

Fig. 7 Damage configuration of C65EF65S15

현재 재화중량 500톤 이상의 유조선에 적용되는 이중저구조는 해양오염방지법 시행규칙 별표6의 18호에 따라 최소높이가 B/15m 이상이 되어야 하고 최소값은 0.76m(재화중량 600톤 미만의 경우 0.65m) 이상으로 규정하고 있다. Fig. 8(a)와 (b)는 각각 재화중량 2,000톤 미만과 600톤 미만의 국내



(a) under DWT 2,000ton

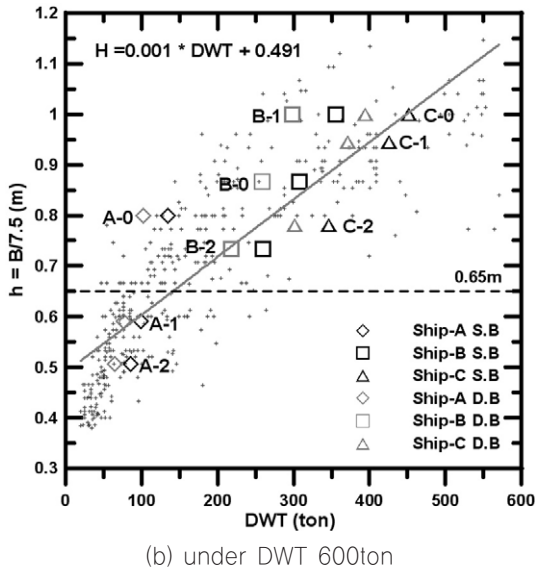


Fig. 8 D.B. height distribution of small oil tanker according to DWT

소형유조선의 재화중량에 대한 선폭의 분포를 수정하여 재화중량에 대한 이중저 높이 $h=B/15$ 및 $h=B/7.5$ 의 분포로 나타낸 것이다. 재화중량 500톤~2,000톤 사이의 국내 소형 유조선의 이중저 높이 $h=B/15$ 는 대부분 0.76m 이하이고, 심지어 최소 이중저 높이 0.65m 보다 작다는 것을 알 수 있다.

이상의 소형유조선 내좌초 구조해석 및 이중저구조 검토를 통한 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- 일반적으로 선저부가 내좌초에 가장 큰 비중을 차지하는 부재이고, 이중저 높이, 압초의 내저판으로부터의 높이 및 선박 폭 방향으로의 위치에 따라 이중저구조의 각 부재의 내좌초 내부에너지의 흡수 능력은 크게 달라졌다. 전반적인 좌초응답 이외에 각 부재의 내좌초 기여 내부에너지 흡수 능력을 분석함으로써 내좌초에 우수한 이중저구조를 도출할 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

- 이중저 높이가 높을수록 내저판의 파단이 크게 발생한다는 것을 확인할 수 있었다. 본 내좌초 구조해석을 통하여 이중저구조가 예상보다 내좌초 성능에 훨씬 더 우수하다는 것을 확인할 수 있었다. 이중저 높이가 크면 클수록 내좌초에 우수하지만, Ship A, B 및 C의 이중저 높이로서 각각 0.65, 0.75 및 0.85m 이상이 적합하다고 사료된다.

- 내좌초에 보다 우수한 이중저구조로서는 손상 시 복원성능에 문제가 없는 범위 내에서 화물창의 개수를 줄이는 것이 바람직할 것으로 사료된다. 재화중량 500톤 미만의 국내 소형유조선의 이중저 높이는 $h=B/7.5$ 이상이 되어야 하고, 최소 0.65m 이상이 되는 것이 타당할 것으로 사료된다.

- 소형유조선의 이중저구조로의 구조변경으로 인하여 재화중량톤수가 작아지면 화물창의 용적률 감소율과 이중저구조 개조비 비율이 더 커지는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 소형유조선으로서의 경제적인 문제점 이외에, 실선 이중저구조 소형유조선의 내좌초 구조해석 결과에 의하면 재화중량 약 150톤 미만의 유조선은 이중저구조의 설치를 면제하는 것이 타당할 것으로 사료된다.

5. 소형 이중저 유조선의 복원성 검토

재화중량 500톤 미만의 소형 이중저구조 유조선의 손상 시 복원성능을 검토하기 위하여 Fig. 2에서와 같이 현재 국내 운항중인 재화중량 500톤 미만의 소형유조선의 자료를 기초로 하여 Table 1의 단저구조 유조선인 Ship A, B 및 C를 4장에서

Table 3 Damage results of full ship grounding simulation

case	rock penetration length(m)		fracture length(m)			
			bottom		inner bottom	
C65EF05C10	F.B. ~ No.1 mid C.T.	3.80	F.B. ~ No.1 mid C.T.	2.55	-	
C65EF05B10	F.B. ~ No.3 fore C.T.	6.65	No.1 mid ~ No.3 fore C.T.	4.60	-	
C65EF05S10	No.1 fore ~ No.3 mid C.T.	5.74	No.1 after ~ No.3 mid C.T.	4.75	-	
C65EF25C10	F.B. ~ No.1 mid C.T.	3.11	F.B. ~ No.1 fore C.T.	1.48	-	
C65EF25B10	F.B. ~ No.2 fore C.T.	4.14	No.1 mid ~ No.2 mid C.T.	1.95	-	
C65EF25S10	No.1 fore ~ No.2 mid C.T.	4.53	No.1 mid ~ No.2 mid C.T.	3.27	-	
C65EF45C10	F.B.	2.92	F.B.	0.20	-	
C65EF45B10	F.B. ~ No.1 mid C.T.	3.61	No.1 fore ~ mid C.T.	1.35	-	
C65EF45S10	No.1 fore ~ No.2 mid C.T.	3.70	No.1 mid ~ No.2 mid C.T.	1.81	No.1 mid ~ No.2 fore C.T.	1.06
C65EF65C10	F.B.	2.74	F.B.	0.74	-	
C65EF65B10	F.B. ~ No.1 fore C.T.	3.38	F.B. ~ No.1 fore C.T.	0.15	No.1 fore C.T.	0.14
C65EF65S10	No.1 fore ~ after C.T.	3.12	No.1 mid ~ after C.T.	0.91	No.1 mid ~ after C.T.	1.04
C65EF65C104C	F.B.	2.76	F.B.	0.85	-	
C65EF65B104C	orebody ~ No.1 fore C.T.	3.37	No.1 fore C.T.	0.28	No.1 fore C.T.	0.16
C65EF65S104C	F.B. ~ No.1 mid C.T.	3.93	No.1 after ~ No.2 fore C.T.	0.72	No.1 mid C.T.	0.40
C65EF65C15	F.B. ~ No.1 mid C.T.	4.60	No.1 mid C.T.	0.83	No.1 fore C.T.	0.28
C65EF65B15	F.B. ~ No.2 fore C.T.	5.37	No.1 mid ~ No.2 mid C.T.	1.90	No.1 fore ~ No.2 mid C.T.	2.58
C65EF65S15	No.1 fore ~ No.2 mid C.T.	5.75	No.1 mid ~ No.2 after C.T.	4.00	No.1 mid ~ No.2 after C.T.	3.73
C65EF65C154C	F.B. ~ No.1 mid C.T.	4.84	F.B. ~ No.1 mid C.T.	2.63	-	
C65EF65B154C	F.B. ~ No.1 mid C.T.	5.87	No.1 fore ~ after C.T.	3.51	-	
C65EF65S154C	No.1 fore ~ No.2 fore C.T.	6.43	No.1 mid ~ No.2 fore C.T.	3.98	No.1 mid ~ after C.T.	3.13
C65TF05C10	F.B. ~ No.1 mid C.T.	3.62	F.B. ~ No.1 mid C.T.	1.48	-	
C65TF05B10	F.B. ~ No.2 after C.T.	5.65	No.1 mid ~ No.2 after C.T.	3.91	-	
C65TF05S10	No.1 fore ~ No.2 after C.T.	5.15	No.1 after ~ No.3 fore C.T.	3.89	-	
C65TF25C10	F.B. ~ No.1 fore C.T.	3.16	F.B. ~ No.1 fore C.T.	0.67	-	
C65TF25B10	F.B. ~ No.1 after C.T.	3.74	No.1 mid ~ No.2 fore C.T.	1.56	-	
C65TF25S10	No.1 fore ~ No.2 mid C.T.	4.19	No.1 after ~ No.2 after C.T.	2.38	-	
C65TF45C10	F.B.	2.92	F.B.	0.44	-	
C65TF45B10	F.B. ~ No.1 mid C.T.	3.53	No.1 mid C.T.	0.54	-	
C65TF45S10	No.1 fore ~ No.2 mid C.T.	3.60	No.1 mid ~ No.2 mid C.T.	1.50	No.1 mid ~ after C.T.	0.99
C65TF65C10	F.B.	2.75	F.B.	0.55	-	
C65TF65B10	F.B. ~ No.1 fore C.T.	3.26	No.1 fore C.T.	0.45	No.1 fore C.T.	0.25
C65TF65S10	No.1 fore ~ after C.T.	3.09	No.1 mid ~ after C.T.	0.72	No.1 mid ~ after C.T.	0.91
C65TF65C15	F.B. ~ No.1 mid C.T.	4.50	F.B. ~ No.1 mid C.T.	1.67	No.1 fore ~ mid C.T.	1.10
C65TF65B15	F.B. ~ No.2 fore C.T.	5.04	No.1 mid ~ No.2 fore C.T.	1.48	No.1 fore ~ No.2 fore C.T.	1.97
C65TF65S15	F.B. ~ No.2 after C.T.	5.41	No.1 mid ~ No.2 after C.T.	3.23	No.1 mid ~ No.2 after C.T.	3.08
C65TBBC10	No.2 mid ~ No.4 fore C.T.	5.00	No.2 mid ~ No.4 fore C.T.	2.37	-	
C65TBBB10	No.2 mid ~ No.4 mid C.T.	5.61	No.3 after ~ No.4 after C.T.	3.04	-	
C65TBBS10	No.2 after ~ No.4 after C.T.	4.52	No.3 after ~ No.4 after C.T.	2.98	-	

Table 3 Damage results of full ship grounding simulation (Continued)

case	rock penetration length(m)		fracture length(m)			
			bottom		inner bottom	
C65TBBC15	No.2 mid ~ No.5 fore C.T.	7.18	No.3 fore ~ No.5 fore C.T.	4.81	-	
C65TBBB15	No.2 mid ~ No.5 mid C.T.	8.31	No.3 after ~ No.5 after C.T.	6.02	-	
C65TBBS15	No.2 after ~ No.5 after C.T.	6.95	No.3 after ~ No.5 after C.T.	5.62	-	
C75EF52C10	F.B.	2.81	F.B.	0.41	-	
C75EF52B10	F.B. ~ No.1 fore C.T.	3.40	No.1 fore C.T.	0.23	-	
C75EF52S10	F.B. ~ No.1 after C.T.	3.13	No.1 mid C.T.	0.56	No.1 mid ~ after C.T.	1.35
C75EF52C15	F.B. ~ No.1 mid C.T.	4.58	F.B. ~ No.1 after C.T.	1.71	No.1 fore ~ mid C.T.	0.92
C75EF52B15	F.B. ~ No.2 mid C.T.	5.63	No.1 fore ~ No.2 mid C.T.	3.34	No.1 fore C.T.	0.17
C75EF52S15	No.1 fore ~ No.2 after C.T.	5.85	No.1 mid ~ No.2 after C.T.	4.34	No.1 mid ~ No.2 after C.T.	4.07
C75TF52C10	F.B.	2.71	F.B.	0.56	-	
C75TF52B10	F.B. ~ No.1 fore C.T.	3.16	No.1 fore C.T.	0.55	-	
C75TF52S10	F.B. ~ No.1 after C.T.	2.94	No.1 mid C.T.	0.46	-	
C75TF52C15	F.B. ~ No.1 mid C.T.	4.44	F.B. ~ No.1 after C.T.	1.81	No.1 fore C.T.	0.25
C75TF52B15	F.B. ~ No.2 fore C.T.	4.96	No.1 fore ~ No.2 fore C.T.	2.51	No.2 fore C.T.	0.32
C75TF52S15	No.1 fore ~ No.2 after C.T.	5.14	No.1 mid ~ No.2 mid C.T.	3.25	No.1 mid ~ No.2 fore C.T.	1.07
C85EF37C10	F.B.	2.65	F.B.	0.46	-	
C85EF37B10	F.B. ~ No.1 fore C.T.	3.60	F.B. ~ No.1 fore C.T.	0.21	-	
C85EF37S10	No.1 fore ~ after C.T.	3.23	No.1 fore ~ after C.T.	1.00	-	
C85EF37C15	F.B. ~ No.1 mid C.T.	4.39	F.B. ~ No.1 mid C.T.	2.43	-	
C85EF37B15	F.B. ~ No.2 mid C.T.	5.72	F.B. ~ No.2 mid C.T.	3.05	-	
C85EF37S15	No.1 fore ~ No.2 mid C.T.	5.77	No.1 mid ~ No.2 after C.T.	3.75	-	
C85TF37C10	F.B.	2.71	F.B.	0.82	-	
C85TF37B10	F.B. ~ No.1 fore C.T.	3.19	F.B. ~ No.1 fore C.T.	0.47	-	
C85TF37C10	No.1 fore ~ after C.T.	2.77	No.1 mid ~ after C.T.	0.75	-	
C85TF37C15	F.B. ~ No.1 mid C.T.	2.72	F.B. ~ No.1 mid C.T.	2.31	-	
C85TF37B15	F.B. ~ No.2 mid C.T.	5.02	F.B. ~ No.2 mid C.T.	2.89	-	
C85TF37C15	No.1 fore ~ No.2 mid C.T.	5.13	No.1 mid ~ No.2 after C.T.	3.67	-	
B65EF05C10	F.B. ~ No.1 fore C.T.	3.02	F.B. ~ No.1 fore C.T.	0.45	-	
B65EF05B10	No.1 fore ~ No.2 fore C.T.	4.03	No.1 fore ~ No.2 fore C.T.	2.61	-	
B65EF05S10	No.1 fore ~ No.2 mid C.T.	3.81	No.1 after ~ No.2 mid C.T.	2.52	-	
B65EF25C10	F.B.	2.67	F.B.	0.36	-	
B65EF25B10	F.B. ~ No.1 mid C.T.	3.41	No.1 mid C.T.	0.62	-	
B65EF25S10	No.1 fore ~ No.2 fore C.T.	2.83	No.1 mid ~ No.2 fore C.T.	0.89	-	
B65EF45C10	F.B.	2.63	F.B.	0.25	-	
B65EF45B10	F.B. ~ No.1 fore C.T.	2.90	No.1 fore C.T.	0.15	-	
B65EF45S10	F.B. ~ No.1 mid C.T.	2.48	No.1 mid C.T.	0.51	No.1 fore C.T.	0.07
B65EF65C10	F.B.	2.57	F.B.	0.29	-	
B65EF65B10	F.B.	2.62	-		-	
B65EF65S10	F.B. ~ No.1 mid C.T.	2.31	No.1 mid C.T.	0.26	No.1 fore C.T.	0.07

와 같이 최소 이중저 높이 0.65m로부터 최적의 이중저 높이를 검토하기 위하여 0.1m 씩 이중저 높이를 증가시키면서 각 선박의 주요치수는 고정시키고 선박의 폭만을 변경하여 손상 시 복원성을 검토하였다.

이중저구조 유조선의 중량 및 중심의 위치는 단저구조 유조선의 공선상태(light ship condition)의 값을 기초로 하여 0.65m, 0.75m, 0.85m 높이의 이중저의 중량 및 중심의 값을 합산하여 산출하였다. 이중저 설치로 인하여 무게중심 위치가 단저구조에 비해서 약간씩 상승함을 알 수 있었

다. 또한 화물창 수와 복원성과의 상관관계를 검토하기 위하여 6개의 화물창을 가지고 있는 Ship C를 4개, 3개로 구조변경한 후 각 상태별로 공선상태의 중량 및 중심의 위치를 산출하였다. 화물창의 수가 줄어들면 무게중심 위치가 약간씩 상승함을 알 수 있었다.

본 연구에서는 선박계산프로그램인 CASHIP을 이용하여 손상 시 복원성을 검토하였다. 손상범위는 MARPOL 73/78의 규정에 따라 선정하여 선정된 3척의 소형 유조선의 손상범위는 Table 4에, 각 선박의 손상 경우는 Table 5에 요약하였다.

Table 4 Damage range of small oil tankers

(unit : m)

	ShipA			ShipB			ShipC		
	length	width	verticality	length	width	verticality	length	width	verticality
side damage	3.14	1.20	infinity	3.30	1.30	infinity	3.52	1.50	infinity
bottom damage	3.14	1.00	0.40	3.30	1.08	0.43	3.52	1.25	0.50

Table 5 Damage case based on MARPOL 73/78

case	damage area				
	Ship A	Ship B	Ship C		
			C-xxx0	C-xxx1	C-xxx2
1	no.4 c.o.t(p) no.3 c.o.t(p) no.4 void(c) no.3 void(c)	no.1 c.o.t(s) no.1 void(c)	no.1 c.o.t(s) no.2 c.o.t(s) no.1 void(c) no.2 void(c)	no.1 c.o.t(s) no.1 void(c)	no.1 c.o.t(s) no.1 void(c)
2	no.3 c.o.t(p) no.2 c.o.t(p) no.3 void(c) no.2 void(c)	no.2 c.o.t(s) no.2 void(c)	no.2 c.o.t(s) no.3 c.o.t(s) no.2 void(c) no.3 void(c)	no.2 c.o.t(s) no.2 void(c)	no.2 c.o.t(s) no.2 void(c)
3	no.2 c.o.t(p) no.1 c.o.t(p) no.2 void(c) no.1 void(c)	no.3 c.o.t(s) no.3 void(c)	no.3 c.o.t(s) no.4 c.o.t(s) no.3 void(c) no.4 void(c)	no.3 c.o.t(s) no.3 void(c)	no.3 c.o.t(s) no.3 void(c)
4	no.1 c.o.t(p) no.1 w.b.t(s) no.1 void(c)	no.4 c.o.t(s) no.4 void(c)	no.5 c.o.t(s) no.5 void(c)	no.4 c.o.t(s) no.4 void(c)	PUMP ROOM no.3 c.o.t(s) no.3 void(c)
5	no.4 void(c) no.3 void(c) no.2 void(c) no.1 void(c)	no.5 c.o.t(s) no.5 void(c)	no.6 c.o.t(s) no.6 void(c)	PUMP ROOM no.4 c.o.t(s) no.4 void(c)	no.4 c.o.t(s) no.5 c.o.t(s)
6	-	-	PUMP ROOM no.6 c.o.t(s) no.6 void(c)	no.5 c.o.t(s) no.6 c.o.t(s)	-
7	-	-	no.7 c.o.t(s) no.8 c.o.t(s)	-	-

이상의 소형유조선의 손상 시 복원성 검토를 통한 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- 대상 선박을 이중저구조 유조선으로 구조변경을 실시하였고, 또한 이중저 높이를 0.1m 간격으로 조정하여 보다 좋은 복원력을 갖는 구간도 검토하였다. 하지만 소형유조선의 경우 이중저 높이는 실제 복원력에 많은 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.
- 대상 선박 중에서 화물창의 수가 가장 많은 Ship C를 이용하여 화물창의 수의 변화에 따른 복원성을 검토하였지만 대상 선박군인 유조선은 복원성이 대체로 우수한 선박이어서 화물창의 수를 작게 하여 손상범위를 넓게 하여도 복원성에 영향을 거의 미치지 않는 것으로 나타났다.
- 앞에서의 검토 결과를 이용하여 Fig. 9와 같이 복원성 검토에서 변수로 사용한 선폭을 길이와 높이로 무차원화 하였다. 선박의 폭이 가장 좁은 Case A-2, B-2, C-2의 선박들은 복원성 기준을 일부 항목에서 만족하지 못하거나 기준 선형(Case A-0, B-0, C-0)의 선박보다 복원성이 상당히 좋지 않은 결과를 얻었다.

6. 결 론

내좌초에 우수한 500톤 미만의 소형유조선의 이중저구조를 개발하고 그에 적합한 이중저구조 기준을 확립하기 위해 수행한 본 연구의 결론은 다음과 같다.

- Small oil tanker과 CONV/PD328 선저모델

이 내좌초에 우수하였고, 이중저구조는 내좌초 성능에 크게 기여하고 있다.

- 재화중량 500톤 미만 국내 소형유조선의 이중저 높이는 $h=B/7.5$ 이상이 되어야 하고, 최소 0.65m 이상 되는 것이 타당하다고 사료된다.
- 재화중량 약 150톤 미만의 유조선은 이중저 구조 설치 면제가 필요하다고 사료된다.

이상과 같이 2010년 1월 1일 이후 인도되는 재화중량 500톤 미만의 소형 유조선에 적용할 이중저 구조기준 및 이중저 설치를 면제할 수 있는 선박의 범위를 제시하며, 이 연구는 해양수산부의 2006년도 선박안전기술개발사업으로 수행된 과제임을 밝힌다.

참 고 문 헌

- (1) 이상갑, 2007, 소형유조선 이중저구조 기준 연구개발, 해양수산부.
- (2) LSTC, 2004, LS/DYNA3D User's manual, Version 970, Livermore Soft Technology Corporation, USA.
- (3) Rodd, J.L. and Sikora, J.P., 1995, "Double Hull Grounding Experiments," Proc. of 5th ISOPE, pp. 446-456, Hague, Netherlands.
- (4) Rodd, J.L., 1996, "Large Scale Tanker Grounding Experiments," Proc. of the 6th ISOPE, pp. 1-12, LA, USA.
- (5) Tornqvist R., 2003, Design of Crashworthy Ship Structures, Ph.D. Thesis, Technical University of Denmark.

이 논문은 해양수산부의 해양수산개발사업 연구비 지원으로 이루어진 것임을 밝힙니다.