



13K Chemical Tanker의 기관 제어 불능상태 IMO 2세대 안정성 평가에 관한 실험적 연구

이상범¹·문병영^{2,†}

대우조선해양 선박해양연구소¹
국립군산대학교 조선해양공학과²

An Experimental Study on IMO 2nd Generation Stability Assessment in Dead Ship Condition of 13K Chemical Tanker

Sang-Beom Lee¹·Byung-Young Moon^{2,†}

Ship and Ocean R&D Institute, Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering Co. Ltd.¹
Department of Shipbuilding & Marine Engineering, Kunsan National University²

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

The stability of the existing ships has been evaluated through numerical calculations in the steady-state, but recently the IMO proposed a new stability assessment criteria that the stability is evaluated in the state in which environmental loads from such as waves and wind act like the loads under actual ship operating conditions. In this study, IMO 2nd generation stability assessment method and procedure were summarized for the dead ship condition, and Direct Stability Assessment (DSA) was performed on 13K chemical tanker through basin model test. The model test is performed in the ocean engineering basin to implement wave and wind loads, and environmental conditions for waves were set height and period of the incident wave, considering the regular wave and wind generation range reproducible in the ocean engineering basin. In addition, to consider the effect of wind speed, the Beaufort Scale for wind speed was applied in the model test.

Keywords : Ship stability(복원성), International maritime organization(국제해사기구), Dead ship condition(기관 제어 불능상태), Direct stability assessment(직접 안정성 평가), Basin model test(수조 모형실험)

1. 서론

기존 선박의 복원성은 정수 상태에서의 수치계산을 통해 주로 평가되었으나, 최근에는 실제 선박 운항 조건의 파랑 및 바람 등 환경 하중이 작용하는 상태에서 복원성이 평가되는 새로운 복원성 기준이 논의되었다. 이에 IMO(International Maritime Organization)에서는 순수복원성 상실(pure loss of stability), 파라메트릭 롤(parametric roll), 서프라이딩(surf-riding), 과도한 복원 가속(excessive accelerations), 기관 제어 불능상태(dead ship condition)를 포함한 5가지 복원성 취약 상태에 대해 2세대 복원 안정성 평가 기준을 제시하였다 (IMO SDC.4, 2017a; IMO SDC.5, 2017b).

복원성 취약 상태 중 기관 제어 불능상태는 선박 엔진이

고장 난 상태에서 파가 선체 측면으로 입사하여 대각도의 횡동요가 발생했을 경우를 의미한다. 기관 제어 불능상태에서의 복원성 평가에 관한 선행연구는 확률론적 방법에 기반을 둔 통계 해석적 연구가 주를 이룬다. Vassalos et al. (2003)은 유동해석 프로그램을 활용한 시간 영역 시뮬레이션을 수행하여 기관 제어 불능상태의 확률을 추정하였고, Paroka et al. (2006)은 기관 제어 불능상태에서의 전복에 대한 신뢰할 수 있는 시간 영역 시뮬레이션이 필요하다고 언급하였다. Choi et al. (2017)은 1차 신뢰성 방법(FORM, First Order Reliability Method)을 통해 소형 페리의 기관 제어 불능상태에서의 안정성을 분석하였다.

기관 제어 불능상태에 대한 기존의 복원성 평가는 복원력 곡선(Gz-curve)을 통해 수행되었으나, IMO 2세대 복원성 평가에서는 Level 1과 Level 2의 수식에 의한 평가 및 Level 3에 해당

하는 직접 안정성 평가(DSA, Direct Stability Assessment)를 수행하게 된다. Level 1에서는 기존의 복원력 곡선을 활용하여 안정성을 판단하고, Level 2에서는 확률론적 관점에 의해 파도의 스펙트럼과 각 조건에서 가중함수를 곱하여 합산한 수치를 활용하여 안정성을 판단한다. 만약 2단계까지의 수식에 의한 평가에서 안정성을 만족하지 못하는 경우 실험 및 시뮬레이션을 통한 DSA를 수행하여 복원성을 평가한다 (IMO SDC.7, 2020).

본 연구에서는 기관 제어 불능상태에서의 IMO 2세대 복원 안정성 평가 방법 및 절차를 정리하였고, 13K chemical tanker를 대상으로 수조실험을 통한 직접 안정성 평가(DSA)를 수행하였다. 수조실험은 파랑 및 바람에 의한 환경 하중을 모두 적용하기 위해 중소조선연구원(RIMS)의 해양공학 수조에서 수행하였으며, Beaufort Scale과 해양공학 수조에서 구현 가능한 규칙파와 바람 발생 범위를 고려하여 입사파의 파고와 주기 및 풍속을 설정하였다.

2. IMO 2세대 복원성 평가 절차

2.1 기관 제어 불능상태 Level 1 평가

기관 제어 불능상태에서의 IMO 2세대 복원 안정성 평가 Level 1 기준은 Fig. 1에서 $\varphi_0 < 16^\circ$ 및 $b \geq a$ 를 만족할 때 취약하지 않은 것으로 간주 된다 (IMO SDC.7, 2020). Fig. 1의 x축 Angle of heel은 선박의 횡경사 시 경사각을 말하며, l_{w1} 은 식 (1), l_{w2} 은 식 (2)와 같이 구할 수 있다.

$$l_{w1} = \frac{PA_L Z}{1000g\Delta} (m) \quad (1)$$

$$l_{w2} = 1.5 \times l_{w1} \quad (2)$$

여기서, $P=504(Pa)$, A_L 은 수면 위 선박의 측면 투영면적, Z 는 평균 흘수의 반($d/2$), g 는 중력가속도, Δ 는 배수량을 각각 나타낸다. 또한, 면적 a , b 의 구간을 결정하는 φ 값들은 Table 1과 같이 정의된다.

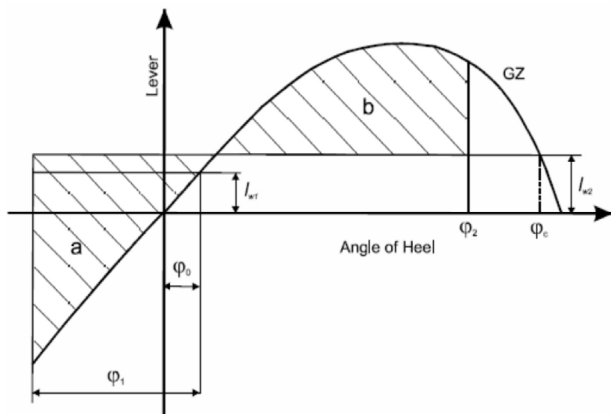


Fig. 1 Definition of area a and b (IMO SDC.7, 2020)

Table 1 Definition of angle φ

Symbol	Definition
φ_0	Angle of heel under action of steady wind(deg)
φ_1	Angle of roll to windward due to wave action (deg)
φ_2	Angle of downflooding, minimum($\varphi_f, 50^\circ, \varphi_c$)

여기서, φ_0 와 φ_c 는 복원력 곡선 그래프를 통해 구할 수 있고, φ_1 는 선체 상부 구조물 또는 선실의 개구부가 비바람에 견딜 수 없는 횡경사각을 나타낸다. φ_1 은 식 (3)으로 구할 수 있다.

$$\varphi_1 = 109kX_1X_2\sqrt{r \cdot s} \quad (3)$$

여기서, k 는 선박의 bilge keel의 유무 및 형상으로 결정되는 값이며, X_1 및 X_2 는 선박의 주요치수로 결정되는 값이다. 또한, r 은 선박의 무게중심과 흘수로, 그리고 s 는 입사파의 경사에 의해 결정되는 값이다 (IMO SDC.7, 2020).

2.2 기관 제어 불능상태 Level 2 평가

기관 제어 불능상태에서의 IMO 2세대 복원 안정성 평가 Level 2에서는 식 (4)을 만족할 때 선박은 기관 제어 불능상태에서 안전하다고 판단한다.

$$C \leq R_{DS0} \quad (4)$$

여기서, $R_{DS0}=0.06$, C 는 환경조건에서 가중 평균으로 식 (5)와 같이 계산된다.

$$C = \sum_{i=1}^N W_i C_{S,i} \quad (5)$$

여기서, W_i 는 파랑 환경조건에 대한 가중치, N 은 총 환경조건 수를 각각 나타내며, wave scatter table을 통해 얻어진다. 또한, $C_{S,i}$ 는 각 환경조건에 의한 기관 제어 불능상태의 불안정성 지표를 각각 나타내며, 선박의 횡동요 운동 주기 및 파랑 환경조건에 대응되는 파랑 스펙트럼에 의해 결정된다 (IMO SDC.7, 2020).

3. 모형실험

3.1 실험 모형

대상 선박인 13K chemical tanker는 기관 제어 불능상태에서의 IMO 2세대 복원 안정성 Level 1, 2 평가에서 복원성에 이상 없음이 확인되었지만, 직접 안정성 평가 절차 정립을 위해 모형실험을 수행하였다.

IMO 2세대 직접 안정성 평가(DSA)의 수조 모형실험을 위해

Table 2 Specification of 13K chemical tanker

Item		Full scale	Model scale
Length over all (L)	m	128.6	3.000
Length B.P (LBP)	m	120.5	2.810
Breadth (B)	m	20.4	0.476
Depth (D)	m	11.5	0.268
Draft (d)	m	8.7	0.203
Block coefft. (CB)	-	0.796	0.796
Midship section coefft. (CM)	-	0.995	0.995
Prismatic coefft. (CP)	-	0.800	0.800
Displacement (Δ)	ton	17,457	0.221
GM	m	1.472	0.034
KG	m	7.304	0.170
LCG(from the stern)	m	63.63	1.484

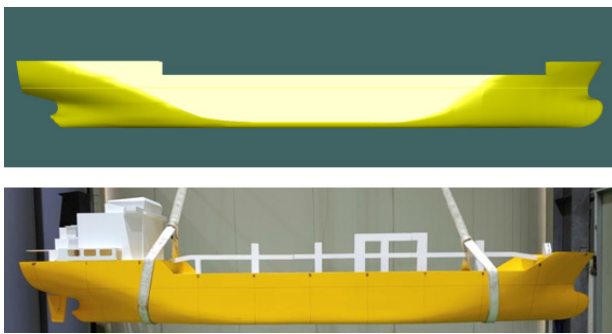


Fig. 2 Photographs of the model ship

아크릴 및 합성수지를 이용하여 축척비 1:42.877인 모형선을 제작하였다. 13K chemical tanker 주요제원은 Table 2와 같으며 (Lee & Kang, 2004), 제작된 모형 선박의 형상을 Fig. 2에 도시하였다. 제작된 모형선은 파랑과 풍속에 의한 전복 상황을 가정하여 갑판 수밀 구조로 제작하였으며, 풍속의 영향을 받는 상부 구조물은 최대한 단순화하였다. 또한, 설계 시에 반영된 무게에 대한 분포를 고려하고자 내부 무게추의 이동과 고정 쉽도록 구성하였다.

실험에 적용된 각 방향 회전반경은 유사 선형의 선행연구를 (Oliveira et al., 2019; Rodriguez et al., 2020) 참조하여 횡동요 방향 회전반경은 선체 폭(B)의 22%인 4.489 m 적용하였고, 종동요 및 선수동요 방향 회전반경은 수선간 길이(L_{BP})의 25%인 30.125 m를 각각 적용하였다.

3.2 실험 장비

수조 모형실험은 Fig. 3에서 도시한 중소조선연구원의 해양공학 수조에서 수행하였다. 해양공학 수조는 길이 28 m, 폭 22 m, 깊이 2.5 m의 크기를 가지며 실험 조건에 따라 수심이 0.8 m~2.5 m로 변경될 수 있게 구축되었다. 또한, 실험에서의 환경조건을 구현하기 위한 조파 장치, 소파 장치 및 바람 발생 장치를 Fig. 4에 도시하였다. 조파 장치는 피스톤 방식으로 최대 파고 0.3 m의 파도를

생성할 수 있고, 바람 발생 장치는 축류 팬 형으로 최대풍속 10 m/s의 바람을 생성할 수 있다. 소파 장치는 그물삽입형 비치 타입으로 입사파의 90% 이상 감쇠시킬 수 있다.

바람, 파랑 중 횡동요 운동 시험을 통한 직접 안정성 평가를 위해 Table 3와 같은 자이로센서를 설치하였다. 자이로센서를 Table 2에서와 같이 길이 방향 무게중심(Longitudinal Center of Gravity, L.C.G.) 1.484 m 및 수직 방향 무게중심(Vertical Center of Gravity, V.C.G.) 0.170 m 위치에 설치하여 운동을 계측하였다. 운동 계측 실험은 Fig. 5 및 Fig. 6과 같이 모형선의 COG를 wave maker에서 10 m 떨어진 지점에 위치시켰고, 바람 발생 장치는 모형선 좌현에서 2.2 m 떨어진 지점에 위치시켜 실험을 진행하였다. 아울러 그림에서와 같이 모형선 선수에서 4 m, 6.1 m 지점에 파고계를 각각 설치하여 입사파의 파고를 계측하였다.



Fig. 3 Ocean engineering basin for experiments(RIMS)



Fig. 4 Experimental equipment : ① Wave maker, ② Current generator, ③ Wind generator, ④ Wave absorber

Table 3 Specification of gyro sensor(motion tracking system)

Equipment	Specification
	- Model : Gyro sensor
	- Maker : Xsens
	- Full scale : 50 m/s ²
	- Bandwidth[Hz] : 30
	- Sample frequency[Hz] : 100
	- Default baudrate[bps] : 115,200

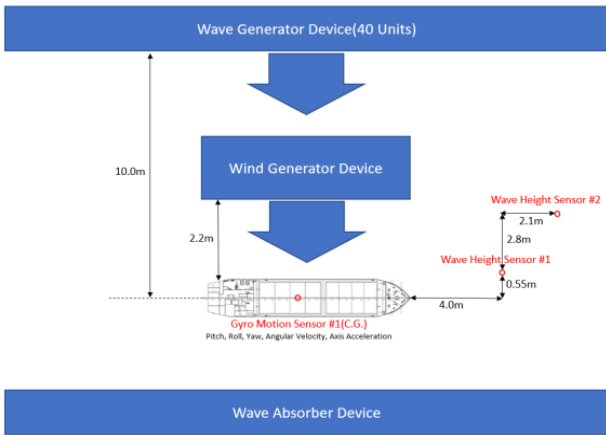


Fig. 5 Experimental schematic diagram

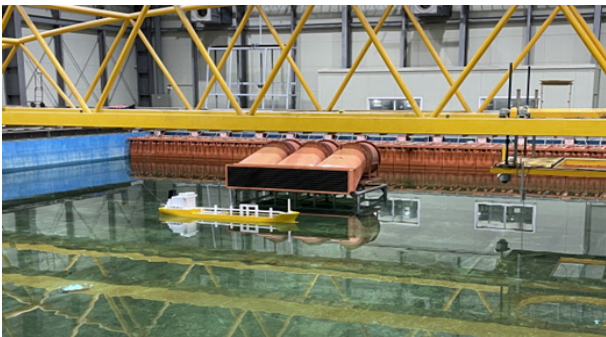


Fig. 6 Installation photographs of model test

Table 4 Test cases

No.	Wave slope	Full scale		Model scale	
		Wave height (m)	Wind speed (m/s)	Wave height (m)	Wind speed (m/s)
1	0.100	4.81	15.46	0.112	2.361
2	0.100	4.81	40.00	0.112	6.109
3	0.098	4.81	15.46	0.112	2.361
4	0.098	4.81	40.00	0.112	6.109
5	0.093	4.81	15.46	0.112	2.361
6	0.093	4.81	40.00	0.112	6.109
7	0.065	4.81	15.46	0.112	2.361
8	0.053	4.81	15.46	0.112	2.361
9	0.044	4.81	15.46	0.112	2.361
10	0.038	4.81	15.46	0.112	2.361
11	0.100	5.88	17.68	0.137	2.699
12	0.098	5.88	17.68	0.137	2.699
13	0.093	5.88	17.68	0.137	2.699
14	0.065	5.88	17.68	0.137	2.699
15	0.053	5.88	17.68	0.137	2.699
16	0.100	6.94	19.59	0.162	2.991
17	0.098	6.94	19.59	0.162	2.991
18	0.093	6.94	19.59	0.162	2.991
19	0.100	8.01	21.40	0.187	3.268
20	0.098	8.01	21.40	0.187	3.268

3.3 실험 조건

13K chemical tanker의 직접 안정성 평가를 위한 파랑 조건은 IMO 2세대 복원성 평가 기준(IMO SDC.7, 2020)의 wave scatter/wave steepness table과 해양공학 수조 최대 구현 가능한 파고 및 주기를 분석하여 최대 파고와 주기를 설정하였다. 또한, 13K chemical tanker의 상부 구조물이 풍속에 미치는 영향도 함께 고려하기 위해 보퍼트 풍속계급(Beaufort Scale)을 적용하여 파고와 주기에 대응되는 바람의 속도를 설정하였다. 해양공학 수조는 수심 2.0 m에서 운영 가능한 최대 파고가 30.0 cm이나, 모형선의 축척비와 제시된 파경사 및 구현 가능한 주기를 바탕으로 최대 18.7 cm(실해상 파고 8.01 m)가 생성되어 Beaufort Scale 9단계까지 실험할 수 있음을 확인하였다. 입사파의 파고 변화 영향을 확인하기 위해 최대 구현 가능한 파고 8.01 m를 기준으로 6.94 m, 5.88 m, 4.81 m로 파고를 변화시켜(모형 기준 2.5 cm 간격) 실험을 수행하였으며, 같은 파랑 조건에서 풍속이 바뀌었을 때의 선박 운동의 변화를 확인하기 위해 최대풍속 40 m/s로 작용할 경우를 추가하였다. 이상의 조건으로부터 입사파의 파고가 4.81 m(Beaufort 7단계)일 경우 10가지, 5.88 m(8단계)일 때 5가지, 6.94 m(8단계)일 때 3가지, 8.01 m(9단계)일 때 2가지 조건을 설정하여 Table 4에 정리하였다. 본 수조의 소파 비율은 입사파의 90% 이상으로 준수하지만, 반사파의 영향을 최대한 배제하기 위해 입사파의 주기와 수조 길이를 바탕으로 반사파의 도달 시간을 확인하여 데이터 획득 시간을 15 초 이내로 정하였다.

4. 실험 결과 및 해석

4.1 모형실험 결과

모형실험은 좌현 90도 방향에서 입사파 및 바람이 불어오는 것을 가정하여 수행하였다. 실험 조건 중 case 01과 02에 대한 snapshot을 Fig. 7과 Fig. 8에 도시하였고, 각각의 조건에 대한 초기 15초까지 횡동요, 종동요, 선수동요 각도 및 입사파의 파고 시계열을 Fig. 9에 도시하였다. Fig. 9의 그래프에서 좌측 세로축은 운동 각도를 우측 세로축은 입사파의 파고를 나타내며, 가로축은 시간을 각각 나타낸다.



Fig. 7 Snapshot of the model test : case 01



Fig. 8 Snapshot of the model test : case 02

4.2 모형실험 해석

2세대 복원성 기준안 중 기관 제어 불능상태의 모형실험 결과 13K oil tanker는 구현 가능한 외력 조건에서 전복되지 않음을 확인하였고, 각각의 실험에서의 운동 계측 결과를 Table 5에 정리하였다. 표에서와 같이 실험 조건 중 파 경사각 0.1, 파고 4.81 m, 주기 9.85초, 풍속 15.46 m/s인 case 01에서 최대 20.57도, 최소 -19.51도의 횡동요가 발생함을 확인할 수 있었다.

같은 입사파에 대해 풍속이 바뀌었을 경우 횡동요, 종동요, 선수동요 운동의 최대값을 Fig. 10에 도시하였다. 그림에서 파 경사각(wave steepness) 0.1은 파고와 파주기가 각각 4.81 m와 9.85초이고(case 01 vs. 02), 파 경사각 0.098은 4.81 m와 9.95초이며(case 03 vs. 04), 파 경사각 0.093은 4.81 m,

10.22초인(case 05 vs. 06) 경우이다. 각각의 경우에서 풍속이 15.46 m/s에서 40 m/s로 증가할 때 최대 횡동요 각도가 오히려 감소하였다, 이는 선수, 선미의 상부 구조물 크기 차이로 선미 부분이 우현으로 더 밀리게 되어 +선수동요가 발생하여 나타나는 현상이다. Fig. 7과 Fig. 8에서와 같이 풍속이 증가할수록 상대적으로 큰 +선수동요가 발생하여 횡동요가 줄어들고 종동요는 증가하게 된다. 3가지 비교 경우에서 모두 같은 현상이 발생하는데 선수동요의 차이가 클수록 횡동요 및 종동요의 차이가 크게 발생함을 확인할 수 있다.

입사파의 파고(4.81 m)와 풍속(15.46 m/s)이 같을 때 입사파의 파 경사각 0.1(case 01) ~ 0.038(case 10)까지 변할 때 횡동요, 종동요, 선수동요 운동의 최대값을 Fig. 11에 도시하였다(case 02, 04, 06 제외). 그림에서와 같이 입사파의 파 경사각이 커질수록 횡동요 운동이 증가함을 확인할 수 있다. 대상 선박의 횡동요 공진 주기가 약 7.4초로 계산되었는데, 실험 조건에서 파 경사각이 클수록 공진 주기와 가까워지기 때문에 발생하는 현상으로 판단된다.

입사파의 파 경사각이 0.1로 고정되고, 파고와 풍속이 4.81 m, 15.46 m/s ~ 8.01 m, 21.4 m/s 변할 때 횡동요, 종동요, 선수동요 운동의 최대값을 Fig. 12에 도시하였다(case 01, 11, 16, 19). 그림에서와 같이 입사파의 파고 풍속이 증가하더라도 횡동요 운동이 감소함을 확인할 수 있다. 하중 단계가 높아질수록 바람에 의한 선수동요의 증가와 횡동요 공진 주기와 멀어져서 생긴 결과로 판단된다.

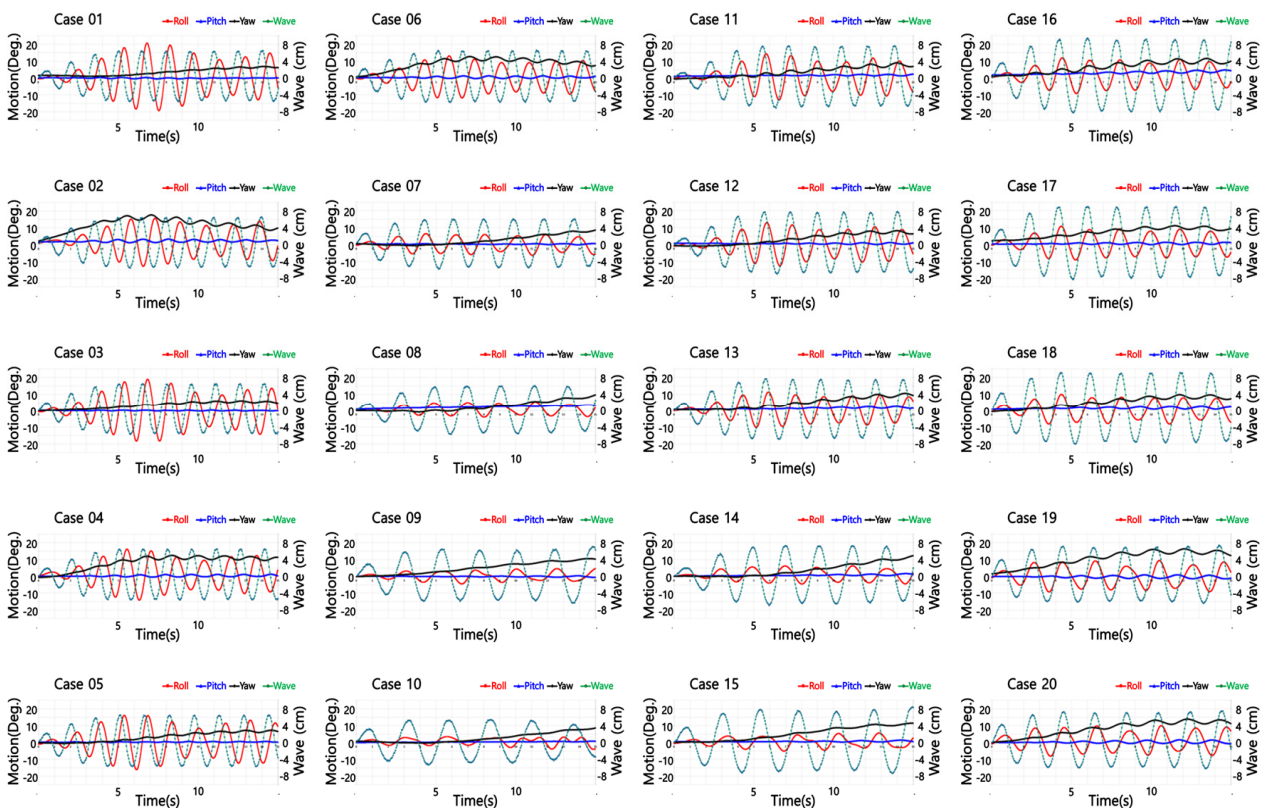


Fig. 9 Time series of ship motion and incident wave height

Table 5 Model test results

No.	Wave			Wind speed (m/s)	Roll(deg.)		Pitch(deg.)		Yaw(deg.)
	Height(m)	Slope	Period(s)		Max.	Min.	Max.	Min.	
Case 01	4.81	0.100	9.85	15.46	20.57	-19.51	0.35	-0.53	6.91
Case 02	4.81	0.100	9.85	40.00	15.57	-13.02	3.29	1.14	17.62
Case 03	4.81	0.098	9.95	15.46	18.84	-18.45	0.21	-0.36	6.08
Case 04	4.81	0.098	9.95	40.00	16.04	-14.28	1.30	-0.40	12.50
Case 05	4.81	0.093	10.22	15.46	16.00	-16.36	0.78	-0.02	7.25
Case 06	4.81	0.093	10.22	40.00	12.99	-11.94	1.31	-0.28	12.73
Case 07	4.81	0.065	12.32	15.46	6.33	-6.56	0.78	-0.27	10.78
Case 08	4.81	0.053	13.83	15.46	5.30	-4.18	3.96	0.54	13.19
Case 09	4.81	0.044	15.49	15.46	4.53	-4.60	0.66	-0.65	11.37
Case 10	4.81	0.038	17.06	15.46	3.47	-4.25	0.79	-0.11	13.46
Case 11	5.88	0.100	10.91	17.68	14.27	-13.08	2.41	0.57	9.05
Case 12	5.88	0.098	11.03	17.68	12.82	-12.75	1.28	0.06	8.21
Case 13	5.88	0.093	11.33	17.68	11.24	-10.27	2.56	0.36	10.72
Case 14	5.88	0.065	13.80	17.68	6.13	-4.66	2.09	0.05	14.96
Case 15	5.88	0.053	15.64	17.68	5.80	-5.30	1.76	0.15	11.51
Case 16	6.94	0.100	11.91	19.59	11.82	-9.34	4.88	0.53	11.60
Case 17	6.94	0.098	12.04	19.59	10.74	-9.25	1.35	-0.04	11.16
Case 18	6.94	0.093	12.39	19.59	9.88	-8.39	2.54	0.40	9.84
Case 19	8.01	0.100	12.88	21.40	9.62	-9.68	0.95	-1.54	16.33
Case 20	8.01	0.098	13.03	21.40	10.01	-8.32	1.61	-0.69	13.90

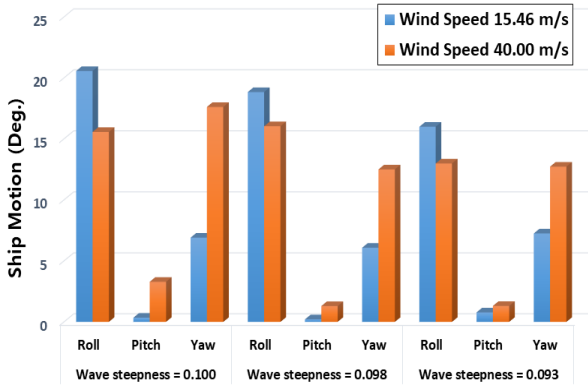


Fig. 10 Motion response to changes in wind speed : wave height 4.81 m

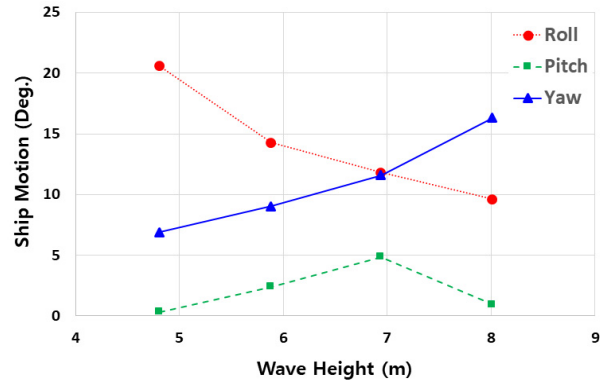


Fig. 12 Motion response to changes in wave height and wind speed : wave steepness 0.100

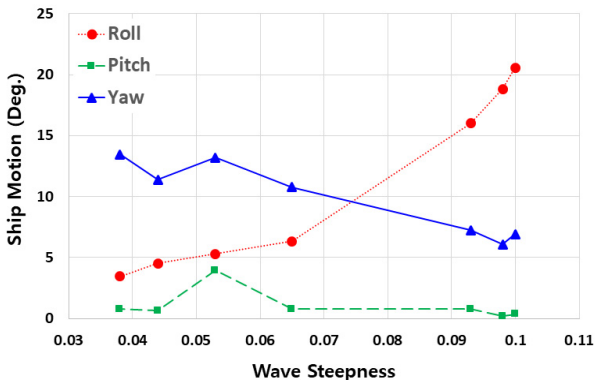


Fig. 11 Motion response to changes in wave steepness : wave height 4.81 m

5. 결론

본 연구에서는 IMO 2세대 복원성 기준에서 제시한 안정성 취약 상태 중 하나인 기관 제어 불능상태에 대해 수조실험을 통한 직접 안정성 평가 방법을 제시하였다. 모형실험은 13K chemical tanker를 활용하였고, 대상 선박이 IMO 2세대 복원 안정성 Level 1, 2 평가에서 이상 없음이 확인되었지만, 직접 안정성 평가 절차와 방법을 정립하기 위해 모형실험을 수행하였다. 실험은 대각도의 횡동요가 발생할 것으로 예상하는 좌현 90도 방향에서 입사파 및 바람이 불어오는 것으로 가정하였다. 파랑 및 바람에 대한 환경조건은 수조에서 구현 가능한 규칙파

와 바람 발생 범위를 고려하여 입사파의 파고와 주기를 설정하였고, 풍속이 미치는 영향도 함께 고려하기 위해 풍속에 대한 Beaufort Scale을 적용하였다.

모형실험 결과 특정 조건에서 최대 20.57도, 최소 -19.51도의 횡동요(Roll)가 발생하였지만, 선박이 전복되는 현상은 발생하지 않아 본 실험에서 구현 가능한 외력 조건에서는 대상 선박이 복원 안정성을 가지는 것을 확인하였다.

입사파의 파 경사각이 고정되고 입사파의 파고와 풍속이 같이 증가할 경우 파고와 풍속이 증가하더라도 횡동요 운동이 감소함을 확인하였는데, 바람에 의한 선수동요의 증가로 인한 결과로 판단된다.

본 연구의 결과로부터 환경조건이 가혹해질 경우 바람에 의한 상부 구조물의 영향으로 선미부가 후류로 향하게 되어 파랑 및 바람의 입사 각도가 바뀌게 된다. 이러한 파랑 및 바람의 입사 각도의 변화로 인하여 종동요 운동이 증가하고 횡동요 운동은 오히려 줄어들 수 있음을 확인하였다.

후 기

본 연구의 모형실험은 중소조선연구소 해양공학수조에서 수행되었으며, 실험을 지원해 주신 중소조선연구원 담당자들에 감사드립니다.

References

Choi, J.H., Jensen, J.J., Kristensen, H.O.H., Nielsen, U.D. & Erichsen, H., 2017. Intact stability analysis of dead ship conditions using FORM. *Journal of Ship Research*, 61(3), pp.167–176.

IMO(2017a), *Draft Guidelines of Direct Stability Assessment Procedures for Use with the Second Generation Intact Stability Criteria*, SDC 4/WP.4 Annex1.

IMO(2017b), *Draft Guidelines of Direct Stability Assessment Procedures for Use with the Second Generation Intact Stability Criteria*, SDC 5/INF4 Add.1.

IMO(2020), *Draft Guidelines of Direct Stability Assessment Procedures for Use with the Second Generation Intact Stability Criteria*, SDC 7/WP.6.

Lee, C. & Kang, C., 2004. *Hull Form Study for 21C 13K Chemical Tanker*. KRISO Model Test Report. No. BSIO2610-04601E.

Oliveira, M.C., Kassab, B.B.M., Coelho, L.C.G., Monteiro, F.V., Santis, R.T., Castillo, C.A.R., Neves, M.A.S., Polo, J.C.F. & Esperanca, P.T.T., 2019. Empirical and experimental roll damping estimates for an oil tanker in the context of the 2nd generation intact stability criteria. *Ocean Engineering*, 189, pp.1–13.

Paroka, D., Chkuwa, Y. & Umeda, N., 2006. Capsizing Probability Prediction for a Large Passenger Ship in Irregular Beam Wind and Waves: Comparison of Analytical and Numerical Methods. *Journal of Ship Research*, 50(4), pp. 371–377.

Rodriguez, C.A., Ramos, I.S., Esperanca, P.T.T. & Oliveira, M.C., 2020. Realistic Estimation of Roll Damping Coefficients in Waves based on Model Tests and Numerical Simulations. *Ocean Engineering*, 213, pp.1–21.

Vassalos, D., Jasionowski, A. & Cichowicz, J., 2003. Weather Criterion – Questions and answers. *Proceeding of 8th International Conference on Stability of Ships and Ocean Vehicles*, Madrid, Espana, pp. 695–707.

