

40미터급 쌍동형 선박의 파랑중 운동성능과 작업성능 평가에 관한 연구

김원욱 · 배준영*

한국해양수산연수원(교수) · *동주대학교(교수)

A Study on the Analysis of Motion and Working Performance of 40M Twin-hull in Wave

Won-Ouk KIM · Jun-Young BAE*

Korea Institute of Maritime and Fisheries Technology(professor) · *Dongju College(professor)

Abstract

The purpose of this research is to evaluate the working performance based on the review of the seakeeping performance in the waves of twin hull. The working performance refers to the state in which crew can perform their duties despite the motion of the vessel due to environmental external forces and propulsion. For this purpose, the motion response of the hull due to the waves during the operation of the ship was calculated using a commercial program base on the 3D panel method. In addition, by reviewing the satisfaction of seakeeping performance in various sea states, appropriate working conditions for the target ship were suggested.

Key words : Working performance, Seakeeping performance, Twin hull, 3D panel method

I. 서론

최근 국내에는 중소형선박설계 분야의 경쟁력을 강화하기 위한 다양한 연구 및 개발 사업이 국가 주도로 진행되고 있다(Kriso, 2020). 이러한 선박들은 주로 연안에서 운영되고 있으며, 선박이 소형이기 때문에 항해 중 과도한 동요가 발생할 수 있다. 또한, 선박의 지속적 동요는 승무원의 피로누적으로 인한 작업 능력의 저하를 야기시킬 뿐만 아니라, 갑판침수 및 슬래밍이 발생하여 선체손상의 위험성도 증대된다(Camilleri et al., 2012). 따라서 이러한 인적 물적 손실을 사전에 방지하기 위하여 선박의 운동성능을 예측하고 선

박의 운항 및 작업 가능 조건을 정량적으로 평가하는 것이 필요하다.

Kim et al.(2014)은 소형 선박의 내항성능을 평가하기 위하여 네 종류의 선형에 대한 모형시험을 수행하고 선형에 따른 저항과 내항성능을 분석하였으며, Seo et al.(2016)도 소형선박의 모형시험을 통하여 저항 및 내항성능에 대한 정량적인 해석을 수행하였다. 또한, Prini et al.(2015)은 strip theory 및 panel method를 사용하여 소형선박의 내항성능을 검토하였으며, Bae(2015)는 strip theory로 개발된 코드를 사용하여 소형 선박의 내항성능을 평가하였다. 하지만 위에서 언급된 사례들은 단일 선체를 가지는 선박을 대상으로 수

* Corresponding Author: 051-200-1556, jybae@dongju.ac.kr

* 이 논문은 동주대학교 교내 연구비 지원(2021년)에 의하여 연구되었음.

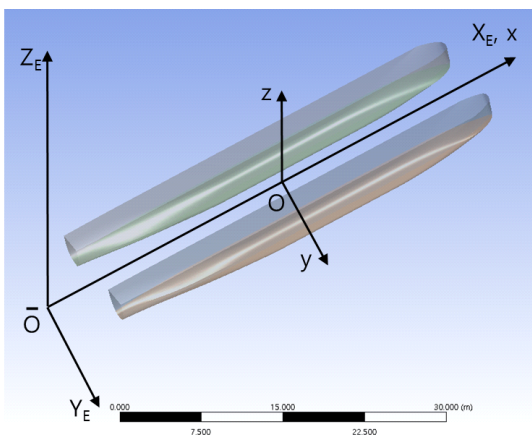
행되었으며, 다중 선체를 가진 선박을 대상으로 내항성능을 항목별로 평가하여 작업성능을 검토한 사례를 찾아보기는 매우 어려운 실정이다.

본 연구는 두 개의 선체로 이루어진 선박의 파랑 중 운동성능의 검토를 토대로 작업성능을 평가하는 것을 목적으로 하고 있다. 이를 위하여 3D panel method 기반의 상용 프로그램을 이용하여 선박의 운항 중 파랑에 대한 선체의 운동응답을 계산하였다. 또한, 다양한 해상상태에서 내항성능의 만족 여부를 항목별로 검토하여 대상선박의 작업조건을 제시하였다.

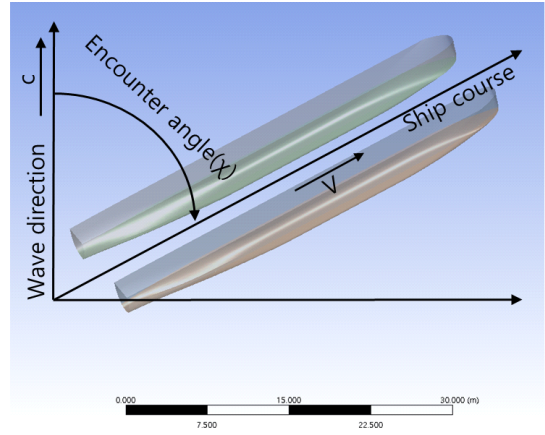
II. 연구 방법

일반적으로 선박의 운동을 예측하기 위해서는 파랑(wave), 조류(current), 바람(wind) 등과 같은 해상 환경 외력의 영향을 고려하여야 한다. 하지만 본 연구에서는 운동의 계산이 이루어지기 전에 선박 수면 상부의 형상이 결정되지 않아서 부득이하게 파랑과 조류만을 고려하여 선박의 운동에 기반한 작업성능을 검토하였다.

1. 좌표계



[Fig. 1] Coordinate system.



[Fig. 2] Definition of heading angle.

대상선박의 작업성능을 검토하기 위하여 [Fig. 1]과 같이 선박에 고정된 물체고정좌표계를 $O - xyz$, 공간좌표계를 $\bar{O} - X_E Y_E Z_E$ 로 취한다. 물체고정좌표계의 원점은 선박의 중앙횡 단면에서 수선면의 높이에 취하고, 선박의 선수방향을 x , 정횡우현방향을 y , 수선면에서 갑판방향을 z 축의 양(+)의 방향으로 정의한다.

2차원 규칙파의 진행 방향(파속: c)과 선박의 항행 방향(선속: V)이 이루는 각을 조우각(encounter angle) χ 라 정의하고, 이것을 [Fig. 2]에 나타낸다.

2. 파랑 모형

실제 해상에서 파의 파형은 불규칙적이거나 관습적으로 규칙파 성분들의 중첩으로 불규칙파를 표현하고 있다.

식(1)은 규칙파의 파형을 나타내고 있다.

$$\zeta = \zeta_0 \cos(kX \sin \theta_0 + kY \cos \theta_0 + \omega t) \quad \dots (1)$$

여기서, ζ 는 연속파의 높낮이, ζ_0 는 파의 진폭, k 는 파수, ω 는 원주파수, θ_0 는 임의의 기준축으로부터 파의 방향, t 는 시간을 의미한다.

식(2)는 파에너지 스펙트럼(Lloyd, 1989)의 정의

에 따라 불규칙파의 높낮이를 표현한 식이다.

$$\zeta(t) = \sum_{i=1}^{\infty} \sqrt{2S_{\zeta}(\omega_i)\delta\omega} \dots\dots\dots (2)$$

$$\times \cos k_i X \sin \theta_0 + k_i Y \cos \theta_0 + \omega_i t + \epsilon_i$$

여기서 $S_{\zeta}(\omega)$ 는 단방향 스펙트럼(one-dimensional spectrum), $\delta\omega$ 는 주파수 밴드 폭(frequency band width), ϵ 은 임의의 위상각(random phase angle)로 0 에서 2π 의 범위를 가지고 있다.

해양 환경은 기상의 변화에 따라서 다양하게 변화하고 있으며, 그에 따라서 파 스펙트럼도 변화한다. 또한, 파에 포함되어 있는 에너지에 비례하는 유의파의 크기가 같더라도 주파수에 따른 에너지의 분포가 다르기 때문에 파주기 면에서 매우 다른 해양 환경이 발생할 수 있다.

이러한 다양한 환경 조건에도 불구하고 연구자들은 적절한 가정 하에 해양파에 대한 표준 파에너지 스펙트럼(wave energy spectrum)을 구하는 추정식을 제안하고 있으며 이것을 표준스펙트럼이라고 부르고 있다. 조선·해양공학 분야에서 실용적으로 광범위하게 이용되고 있다.

본 연구에서는 국제수조협의회(International Towing Tank Conference, ITTC)에서 1978년에 제안한 표준스펙트럼(The Society of Naval Architectures of Korea, 1979)을 이용한다.

$$S_{\zeta}(\omega) = A\omega^{-5} \exp(-B/\omega^4) \dots\dots\dots (3)$$

$$A = 172.75 \bar{H}_{1/3}^2 / \bar{T}^4, \quad B = 691 / \bar{T}^4$$

여기서 $\bar{H}_{1/3}$ 는 유의파고(significant wave height), \bar{T} 는 평균파주기(mean wave period), $S_{\zeta}(\omega)$ 는 파에너지 스펙트럼을 의미한다.

3. 조류 모형

본 연구에서 조류에 대한 것은 2차원 형태로 수평 성분만을 고려하였다. 조류의 방향은 흘러

나가는 방향을 양의 방향으로 설정하였으며, 설정한 속도와 방향의 변화 없이 일정하게 유지되는 것으로 하여 시뮬레이션을 수행하였다.

4. 선체운동 모형

선체의 운동방정식은 운동응답이 선형이며 조화적이라는 가정 하에 6개의 선형 연성 미분 운동방정식으로 표현할 수 있다. 하지만 선박과 같이 횡대칭 세장체(long slender hull form)의 경우에는 전후 동요의 유체동역학적 힘이 다른 힘들보다 작기 때문에 종방향의 운동은 무시하고 식(4)와 같이 운동방정식을 쓸 수 있다.

$$\sum_{j=2}^6 ((M_{jk} + A_{jk})\ddot{\eta}_k + B_{jk}\dot{\eta}_k + C_{jk}\eta_k) \dots\dots\dots (4)$$

$$= F_j e^{i\omega t}$$

여기서, M_{jk} 는 선박의 질량 및 관성모멘트 계수, A_{jk} 는 부가질량 또는 부가관성모멘트 계수, B_{jk} 는 감쇠모멘트 계수, C_{jk} 는 복원력 계수, F_j 는 파강제력 또는 파강제모멘트, $\eta_k, \dot{\eta}_k, \ddot{\eta}_k$ 는 운동응답의 변위, 속도 및 가속도를 의미한다.

본 연구에서의 해양파는 장파정의 해양파가 단파정의 해양파에 비하여 값이 크게 나타나기 때문에 장파정 해양파로 간주하여 수행되었다.

장파정 불규칙파 중에서의 선체 운동응답 에너지 스펙트럼($S_R(\omega_e)$)는 모든 운동이 선형적이라는 가정 하에 중첩의 원리를 이용하면, 단위 진폭을 가진 조우진동수(ω_e)와 입사각(θ)에 의해 계산되는 운동응답의 응답진폭함수(Response Amplitude Operators, RAO)와 장파정 불규칙파의 조우스펙트럼 ($S_{\zeta}(\omega_e)$)를 사용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$S_R(\omega_e) = [RAO(\omega_e, \theta)]^2 \times S_{\zeta}(\omega_e) \dots\dots\dots (5)$$

$$\text{여기서, } S_{\zeta}(\omega_e) = \frac{S_{\zeta}(\omega)}{|1 - (2\omega V/g) \cos \chi|}, \quad V \text{ 는}$$

선속을 의미한다.

불규칙 해상에서의 선체응답을 에너지 스펙트럼($S_R(\omega_e)$)로 표시하였으므로, 응답에너지 및 모멘트를 식(6)과 같이 표현할 수 있다.

$$m_0 = \int_0^\infty S_R(\omega_e) d\omega_e \dots\dots\dots (6)$$

불규칙한 운동응답의 진폭이 Rayleigh 확률밀도함수 분포를 한다고 가정하면, 불규칙한 운동응답의 특성치들은 다음과 같다.

$$S = \sqrt{m_0}, \sigma_{1/3} = 2.0\sqrt{m_0} \dots\dots\dots (7)$$

$$\sigma_{1/10} = 2.545\sqrt{m_0}, \sigma_a = 1.25\sqrt{m_0}$$

$$E[\sigma_{max}] = \sqrt{2m_0} \{(\log_e N)^{1/2} + 0.2886(\log_e N)^{-1/2}\}$$

여기서, E 는 기대치(expected value), N 은 연속된 일정 시간 동안 출현될 파고의 총 개수를 의미한다. 식(7)에서 RMS 는 제곱평균근, $\sigma_{1/3}$ 는 유의진폭, $\sigma_{1/10}$ 은 1/10 최대평균진폭, σ_a 는 평균진폭, $E[\sigma_{max}]$ 는 σ_{max} 의 기대치에 관한 근사식을 나타낸다.

III 결과 및 고찰

1. 선박

본 연구의 대상선박은 전장(LOA)가 40M인 쌍동형 선박으로 주요제원은 <Table 1>과 같다.

2. 시뮬레이션 시나리오

선박의 작업성능을 검토하기 위해서 경하상태는 고려하지 않고 운항 중 가장 열악한 상황이라고 판단되는 만재상태만을 고려하였으며 선박의 속도는 설계 속도인 13kts와 정지상태의 2가지 조건으로 설정하였다. 대상선박이 좌우 대칭형

선박이기 때문에 조우각은 0도에서 180도까지 30도 간격으로 구분하였으며, 해상상태는 특정하지 않고 해상상태를 1부터 순차적으로 증가시켜가면서 시뮬레이션을 수행하여 평가기준을 만족하는 해상상태를 찾는 것으로 하였다. 세부적인 해석 시나리오를 요약하여 <Table 2>에 나타내었다.

<Table 1> Principal dimensions of the ship.

Item	Dimension	
Design Speed	13.000 knots	
LOA	40.000 m	
LBP	38.000 m	
Breadth	11.000 m	
Depth	3.800 m	
Draft	Forward	1.500 m
	Aft	1.500 m
LCG from AP	3.300 m	
KG	4.246 m	
GM _T	12.339 m	
Displacement	218.700 m ³	

<Table 2> Scenario for numerical analysis.

Scenario	Ship Speed[kts]	Loading Condition	Encounter Angle[deg]
1~7	0	Full Load	0, 30, 60, 90, 120, 150, 180
8~14	13	Full Load	0, 30, 60, 90, 120, 150, 180

3. 평가기준

지금까지 내항성능에 대한 평가 기준은 법규나 규칙에서 명시하고 있지는 않지만, 선박의 운동이론이나 운항 경험 또는 선주사에서 제시하는 수치로 정해지고 있다. 본 연구에서는 소형 고속정의 운항한계에 대한 연구(Bae, 2015)에서 제시한 기준을 토대로 검토가 이루어졌으며, 그 기준을 <Table 3>에 보인다. <Table 3>의 기준을 만족하면 본 연구에서 검토하고자 하는 선박에서의 작업성능도 만족하는 것으로 하였다.

<Table 3> Seakeeping criteria.

Motion response	Definition	Criteria	
		Operational	Survival
Roll	SSA(*) (deg.)	8.0	30.0
Pitch	SSA(*) (deg.)	4.8	8.0
Deck Wetness	No./hour	30	50
Slamming	No./hour	20	50
Vertical Acceleration	SSA(*) (g)	0.4	0.8
Lateral Acceleration	SSA(*) (g)	0.2	0.4

4. 해석항목

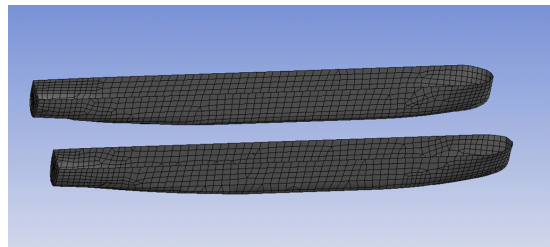
대상선박의 작업성능을 검토하기 위해서 무게 중심(center of gravity)의 위치에서 횡동요(roll motion)와 종동요(pitch motion)를 검토하였으며, 실제 승무원이 업무 중에 가장 많이 활동하는 선교(wheel house)와 상갑판(upper deck)의 위치에서 수직방향 가속도(vertical acceleration)와 횡방향 가속도(lateral acceleration)에 대한 검토가 이루어졌다. 또한 선저와 상갑판의 특정 지점에서 슬래밍(slamming)과 갑판침수(deck wetness)에 대한 계산도 수행되었다. 세부적인 해석항목의 위치를 <Table 4>에 나타내었다.

5. 작업성능 계산

대상선박의 파랑 중 운동응답을 통한 작업성능 해석을 위하여 ANSYS사의 AQWA를 사용하였다. AQWA는 3D panel method를 사용하여 주파수 및 시간 영역에서 다중 선체 및 복잡한 해양구조물의 운동 해석이 가능한 상용 소프트웨어로 현재 국내외의 많은 분야에서 그 유용성이 검증되었으며, 조류, 바람, 파도 등과 같은 환경 외력도 다양하게 설정할 수 있다(Lee and Jeong, 2011; Kim and Lee, 2013).

<Table 4> Definition of items for seakeeping analysis.

Item	Position		
Roll motion	Center of Gravity		
Pitch motion	Center of Gravity		
Ver./Lat. Acceleration	Wheel House 1, 2 Upper Deck 1~4		
Slamming	0.1LBP from F.P.		
Deck Wetness	FP Top		
Name	x(from AP)	y	z
Wheelhouse 1	15.590	0.000	6.300
Wheelhouse 2	30.000	0.000	6.300
Upper Deck 1	-1.097	0.000	3.800
Upper Deck 2	9.000	0.000	3.800
Upper Deck 3	18.000	0.000	3.800
Upper Deck 4	29.000	0.000	3.800
0.1LBP from FP	34.200	0.000	0.000
FP Top	38.000	0.000	3.800



[Fig. 3] Panel generation of the ship.

동요와 가속도의 계산은 [Fig. 3]과 같은 3차원 선형을 격자화하여 AQWA에서 수행하였으며, 갑판침수와 슬래밍은 자체개발한 코드를 활용하여 검토하였다.

AQWA에서의 계산을 위한 영역은 폭, 깊이, 길이를 각각 400m, 400m, 800m로 하였으며 격자는 2,650개로 설정하여 계산을 수행하였다.

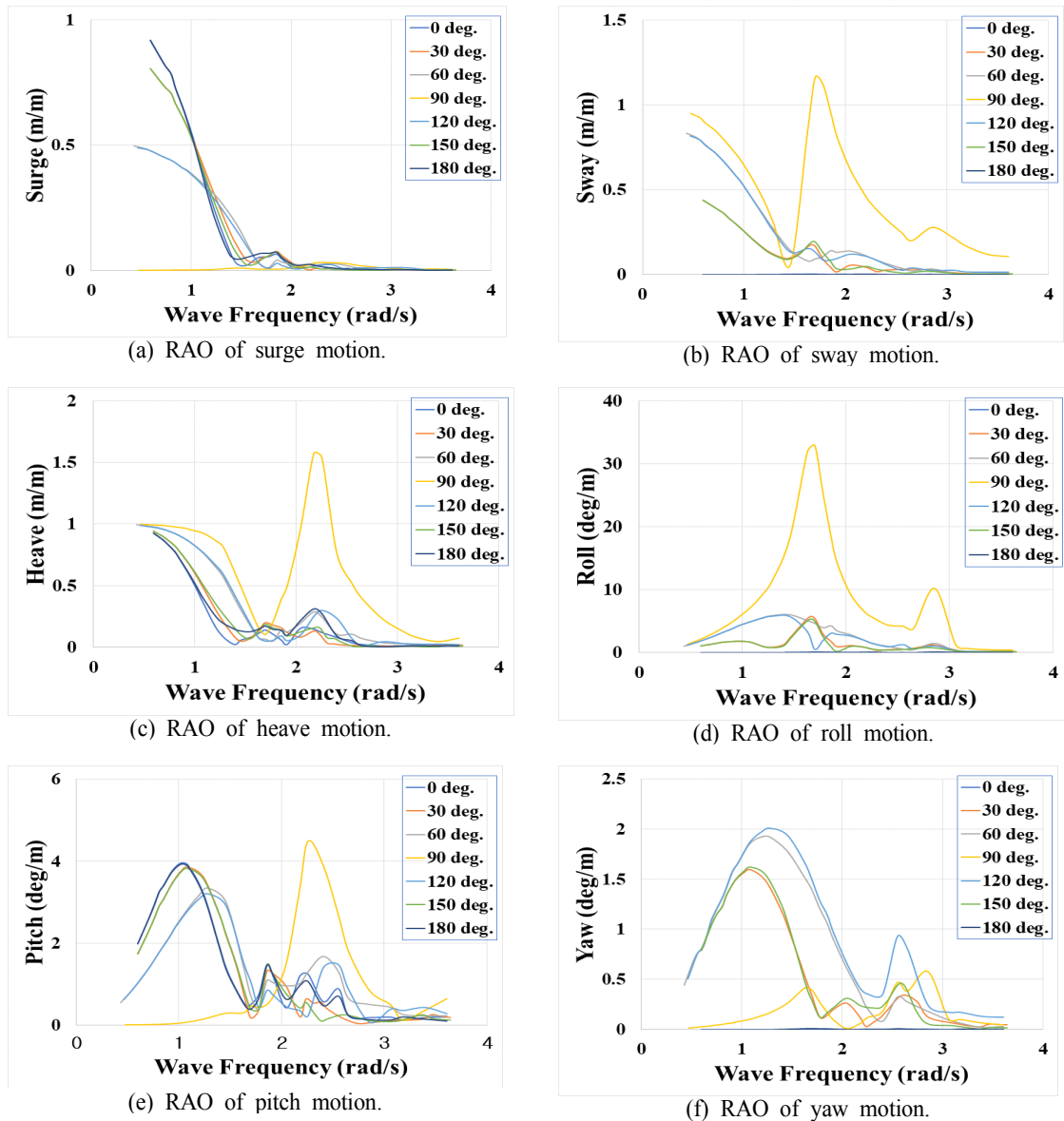
6. 해석 결과

작업성능의 계산은 <Table 2>의 시나리오에 따라서 해상상태 1에서부터 순차적으로 수행하였다. 해상상태 1에서 3까지의 조건에서는 <Table

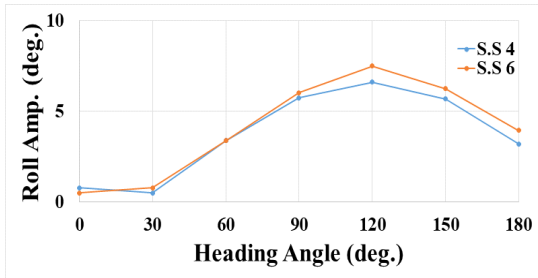
3>의 임무수행 기준을 모두 만족하였다. 해상상태 4와 5에서는 특정 속도를 제외하고는 모든 조건에서 임무수행 기준을 만족하였지만, 해상상태 6에서는 다양한 각도에서 기준을 만족하지 못하

였기 때문에 <Table 2>의 시나리오에 따른 검토는 해상상태 6까지만 수행하였다.

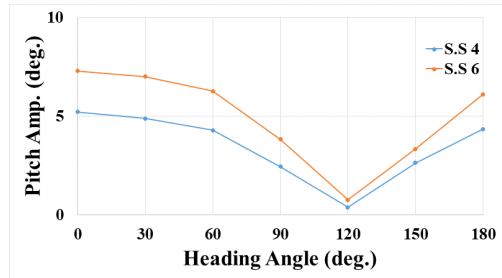
[Fig. 4]에 해상상태 4에서 6자유도 운동의 결과를 나타냈다.



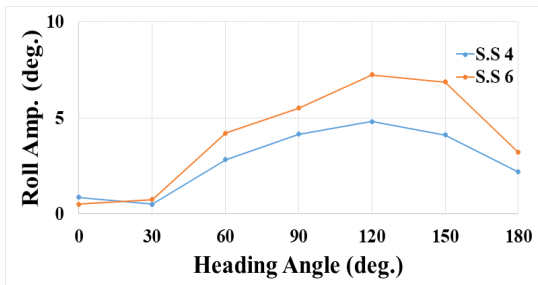
[Fig. 4] Motion RAOs at V=0kts(sea state 4).



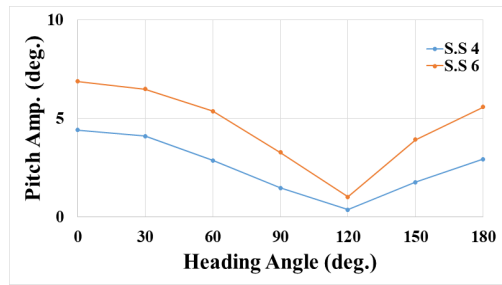
(a) Roll motion at V = 0kts.



(a) Pitch motion at V = 0kts.



(b) Roll motion at V = 13kts.



(b) Pitch motion at V = 13kts.

[Fig. 5] Roll motion at center of gravity.

[Fig. 6] Pitch motion at center of gravity.

[Fig. 5]는 무게중심의 위치에서 선수각(heading angle) 및 선속에 따른 횡동요를 그래프로 나타낸 것이다. 해상상태 4와 6의 모든 조건에서 채택한 기준을 만족하는 것으로 검토되었다.

[Fig. 6]은 무게중심의 위치에서 선수각에 따른 종동요를 그래프로 나타낸 것이다. 해상상태 4에서는 선속이 0kts이면서 선수각이 0도, 30도를 제외한 구간에서 임무수행 기준(operational criteria)을 만족하고 있으며, 해상상태 6에서는 선수각이 90도에서 150도 구간에서만 임무수행 기준을 만족하고 있다. 선속이 13kts일 때에는 해상상태 4에서는 모든 조건에서 임무수행 기준을 만족하고 있지만, 해상상태 6에서는 90도에서 150도 구간에서만 임무수행 기준을 만족하고 있다. 그러나 검토 조건을 생존가능 기준(survival criteria)로 확장하면 동요에 대한 부분은 모두 생존가능 기준을 만족하고 있다.

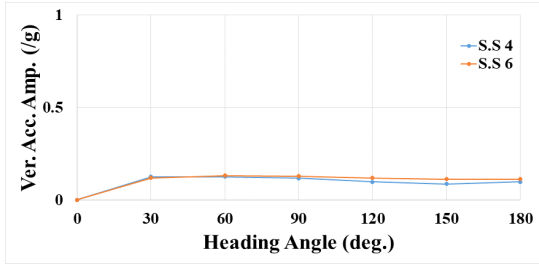
<Table 4>에서와 같이 6개의 위치에서 수직방향 가속도가 검토되었지만 [Fig. 7]에는 선교 1 위치에서의 결과를 그래프로 나타내었다. 선속이

0kts일 때에는 해상상태 4와 6에서 임무수행 기준을 만족하고 있다. 하지만 선속이 13kts로 증가하면 해상상태 6의 선수각 0도에서 임무수행 기준을 초과하고 있지만 생존가능 기준은 만족하고 있음을 그래프를 통하여 알 수 있다.

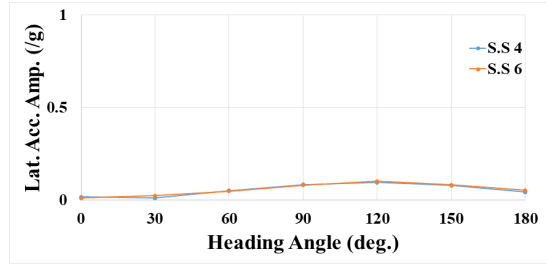
[Fig. 8]도 [Fig. 7]과 같이 선교 1 위치에서의 선수각 및 속도에 따른 횡방향 가속도를 그래프로 나타내고 있다. 해상상태 4에서는 모든 조건이 임무수행 기준을 만족하고 있지만 해상상태 6에서는 13kts의 선수각 150도에서 기준을 초과하는 결과가 나왔다. 하지만 검토 조건에서 생존가능 기준을 넘어서지는 않았다.

[Fig. 9]는 해상상태 4와 6에서 선수각 및 속도에 따른 갑판침수의 빈도를 나타낸 그래프이다. 검토를 수행한 모든 조건이 <Table 4>에서 제시한 임무수행 기준을 만족하고 있다.

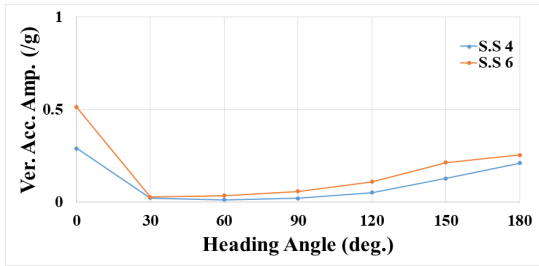
[Fig. 10]은 해상상태 4와 6에서 선수각 및 속도에 따른 슬래밍의 빈도를 나타낸 그래프이다. 검토를 수행한 모든 조건에서 임무수행 기준을 만족하고 있다.



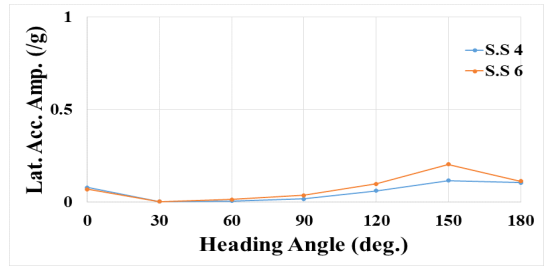
(a) Vertical acceleration at V = 0kts.



(a) Lateral acceleration at V = 0kts.



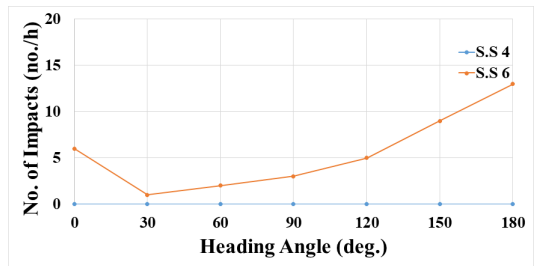
(b) Vertical acceleration at V = 13kts.



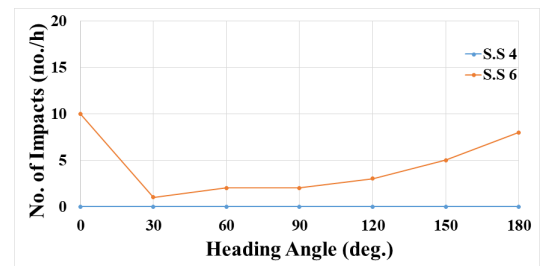
(b) Lateral acceleration at V = 13kts.

[Fig. 7] Vertical acceleration at wheelhouse 1.

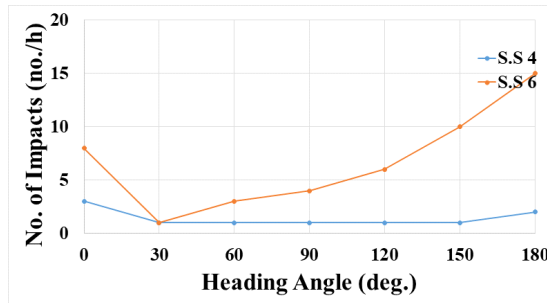
[Fig. 8] Lateral acceleration at wheelhouse 1.



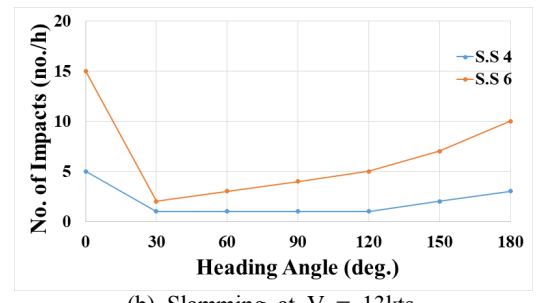
(a) Deck wetness at V = 0kts.



(a) Slamming at V = 0kts.



(b) Deck wetness at V = 13kts.



(b) Slamming at V = 13kts.

[Fig. 9] Deck wetness at FP Top.

[Fig. 10] Slamming at 0.1LBP from FP.

<Table 5> Satisfaction rate of seakeeping criteria according to sea state.

Item	Sea State 4		Sea State 6	
	Oper. Criteria	Surv. Criteria	Oper. Criteria	Surv. Criteria
Roll	100%	100%	100%	100%
Pitch	86%	100%	43%	100%
Ver. Acc.	100%	100%	86%	95%
Lat. Acc.	100%	100%	95%	100%
Deck Wetness	100%	100%	100%	100%
Slamming	100%	100%	100%	100%

<Table 5>는 정지상태와 13kts의 속도를 가진 대상선박이 해상상태 4와 6에서의 임무수행 및 생존가능 기준의 만족여부를 백분율로 나타낸 것이다. 해상상태 4에서는 중동요의 정지상태를 제외한 모든 조건에서 임무수행 기준을 만족하였다. 하지만 해상상태 6에서는 중동요, 수직방향 및 횡방향 가속도에서 임무수행 기준을 충족하지 못하는 결과를 보이고 있다.

IV. 결론

본 연구는 40M급 쌍동형 선박을 대상으로 작업성능을 검토하기 위해 ANSYS사의 AQWA와 직접 개발한 코드를 이용하여 파랑, 조류 등과 같은 환경외력, 선속과 선수각을 변경해가면서 임무수행 및 생존가능 기준의 만족 여부를 검토하였다.

해상상태 3까지는 검토를 수행한 모든 조건에서 임무수행 기준을 만족하였지만 해상상태 4에서는 정지상태의 선수각 0도와 30도에서 임무수행 조건을 초과하였다. 하지만 생존가능 조건은 해상상태 5까지 모두 만족을 하였다. 전반적으로 선수각 0도와 180부근에서 중동요와 수직방향 가속도의 값이 크게 나왔으며 횡동요와 횡방향 가속도의 값은 선수각 90도 부근에서 큰 경향을 보이고 있다. 그러나 갑판침수와 슬래밍의 빈도는

해상상태 6에서도 임무수행 기준을 모두 만족하고 있는 것으로 검토되었다.

본 연구를 수행한 40M급 쌍동형 선박의 작업 및 생존 조건은 정지상태에서는 주로 내향에서 승선인원이 탑승하지 않는 상태이기 때문에 실질적인 선내 작업이 가능한 조건은 해상상태 4까지이며, 생존이 가능한 조건은 해상상태 5까지로 제시할 수 있다.

References

Bae JY(2015). A study on operating limit analysis for small high-speed boat. Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, 21(6), 784~789.
<https://doi.org/10.7837/kosomes.2015.21.6.784>.

Camilleri J, Taunton DJ and Temarel P(2015). Slamming impact loads on high-speed craft sections using two-dimensional modelling. Analysis and Design of Marine Structure, 73~81.

Journal of the Society of Naval Architecture of Korea(1979), 1978 ITTC Sea Spectrum. Journal of the Society of Naval Architecture of Korea, 16(1).

Kim DJ, Kim SY, Kim SH, Seo JH and Rhee SH(2014). Effects of hull form variations on resistance and seakeeping performance of planing hulls with and without incoming regular waves. Journal of the Society of Naval Architects of Korea, 51(5), 369~379.
<https://doi.org/10.3744/SSNAK.2014.51.5.369>.

Kim MS and Lee KS(2013). Hydrodynamic force calculation and motion analysis of OC3 Hywind floating offshore wind turbine platform. Journal of the Korean Society of Maritime Engineering, 37(8), 953~961.
<http://dx.doi.org/10.5916/jkosme.2013.37.8.953>.

KRISO(2020). Collusion of mid-sized ship design project group consortium company. Retrieved from https://www.kriso.re.kr/board.es?mid=a10401000000&bid=0010&mid=a10401000000&bid=0010&nPage=1&list=10&orderby=&dept_code=&tag=&list_no=154&act=view&cg_code=&keyField=&keyWord=&csrf=32202cab-66d5-499a-90f8-73ba895b6fdf on November 09.

- Lee DH and Jeong YJ(2011). Integrated Analysis of Hydrodynamic Motions and Structured Behavior of Large-Scaled Floatings Structures using AQWA-ANSYS Coupling. Journal of the Computational Structural Engineering Institute of Korea, 24(6), 601~608.
- Lloyd ARJM(1989). Sea - keeping ship behaviour in rough weather. Ellis Horwood Limited, Chichester West Sussex, England, 234~262.
- Prini F, Benson S, Birmingham RW, Dow RS, Phillips HJ, Sheppard PJ and Varas JM(2015). Seakeeping analysis of a high-speed search and rescue craft by linear potential theory. International Conference on Lightweight Design of Marine Structures, Glasgow, UK, 87~96.
- Seo J, Choi HK, Jeong UC, Lee DK, Rhee SH, Jung CM and Yoo J(2016). Model tests on resistance and seakeeping performance of wave-piercing high-speed vessel with spray rails. International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering, 8(5), 442~455.
<https://doi.org/10.1016/j.ijnaoe.2016.05.010>
-
- Received : 08 December, 2021
 - Revised : 12 January, 2022
 - Accepted : 21 January, 2022