

해양플랜트지원선의 저항성능과 운동응답특성에 관한 연구

서광철* · 김옥석**† · 류연철** · Mehmet Atlar*** · 이경우****

* 영국뉴캐슬대학 연구원, ** 목포해양대학교 연구원, *** 영국뉴캐슬대학, **** 목포해양대학교 조선해양공학과

The Evaluation of Hydrodynamic Resistance and Motion Response Characteristics of Platform Supply Vessel

Kwang-Cheol Seo* · Ok-Sok Gim**† · Youn-Chul Ryu** · Mehmt Atlar*** · Gyoung-Woo Lee****

* Research Associate, School of Marine Science and Technology, Newcastle University, UK

** Researcher, Dept. of Naval Architecture & Ocean Engineering, Mokpo National Maritime University, Mokpo, 530-729, Korea

*** School of Marine Science and Technology, Newcastle University, UK

**** Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering, Mokpo National Maritime Uni, Mokpo, 530-729, Korea

요 약 : 본 연구에서는 전장이 26.75 m인 해양플랜트지원선의 선형개발을 위한 수치해석을 수행하였고 수치해석 검증을 위한 1/10의 모형선 시험을 예인수조에서 수행하였다. 또한 운항해역의 해상조건으로 뷰포트 스케일 2, 3 및 4에서 항파, 선수사파 및 횡파에서 선속별 상하동요 및 종동요에 대해서 운동응답특성을 수치 해석하였다. 모형시험과 수치해석의 저항 예측 결과는 상호 일치하였다. 운동응답특성은 선수파에서 상하동요는 조우주파수 1.8~2.0 영역에서 크게 나타났으며, 종동요는 거친 해상에서 선미사파 및 고속영역에서 높은 운동특성을 보였다.

핵심용어 : 해양플랜트지원선, 모형시험, 선형개발, 선체운동응답, ITTC 파스펙트럼

Abstract : In this study, numerical hull form development of a platform supply vessel, a full scale with the overall length of 26.75m, was performed to predict a bare-hull resistance and a large scale of model tests with a 1/10 scaled model were conducted to verify the success of numerical results. Numerical analysis on heave and pitch motion as a function of encounter frequency and ship's speed for the prediction of seakeeping characteristics are also presented. The experiment results of resistance agreed well with numerical analysis. As a result in the motion response characteristics, the heave RAO indicates high values with the range of encounter frequency 1.8~2.0. The Pitch RAO indicates high motion response characteristics at Beaufort scale No. 3 and 4 in rough seas.

Key Words : Platform supply vessel, Model test, Hull form development, Ship motion response, ITTC wave spectrum

1. 서 론

화석에너지 수요 증가 및 고유가로 육상과 연안에 의존하던 화석연료의 탐사와 채취가 점점 심해로 확대되고 있다. 이에 따라 화석연료의 탐사, 시추, 채취 및 저장 등을 위한 해양플랜트 및 심해저설비의 설치가 증가되고 있다. 이와 더불어 연안과 연안을 왕복하여 보급물품을 수송하거나 플랜트 운영에 필요한 인력을 이동을 위해 해양플랜트지원선

(PSV; Platform Supply Vessel)의 수요가 증가되고 있다. 보통 업무의 특성에 따라 20~100미터로 건조되는데 건설, 탐사, 편의시설 및 거주 등 다양한 임무와 기능을 지원하는 선박으로 관련 산업과 동반 성장할 수 있는 분야로 예측하였다 (Park and Lee, 2012). 그러나 해양플랜트지원선은 해양플랜트의 운영에 필수적인 요소로 해저 생산산업의 성장과 함께 동반성장이 가능한 대표적인 산업임에도 불구하고 국내기업의 생산량과 연구자료가 미흡하여 경쟁력은 미약한 수준이다(Kim, 2012).

In et al.(2013b)은 관련 시장분석을 통해 해양플랜트의 작업해역이 점차 심해로 이동함에 따라 대형화 및 고성능화가

* First Author : Kwang-cheol,seo@ncl.ac.kr, 061-240-7142

† Corresponding Author : domingo@mmu.ac.kr, 010-2614-3001

필요하며, 노후선 대체 수요를 전망함으로써 기술적 특성을 제시하였다. In et al.(2013a)은 실적선의 자료조사를 바탕으로 개념설계 결과와 예인수조에서 모형시험을 통한 저항특성에 대해 연구하였다. Kim et al.(2013)은 설계 강도 평가를 위한 사전 자료조사를 바탕으로 전산해석을 통해 구조적인 문제점을 제시하였다.

동적 안정성에 대한 연구로는 Vladimir et al.(2012)이 추파중에서 100미터급 해양플랜트지원선의 횡동요와 과도의 갑판 유입에 대한 추정을 통해 동적인 안정성과 운항지침을 제시하였다.

실선저항 추정의 기준으로 1957년 ITTC 모형선 실선 상관곡선을 택하고 있으며, 1978년에 제안된 단추진기선의 성능 추정방법을 저항 추정의 표준으로 채택하고 있다. 전통적으로 실선저항은 모형선의 실험 결과로부터 추정하고 있다. 운동응답특성은 실제 해상상태와 유사한 파랑외력을 적용하여 수치계산이나 수조시험 결과를 바탕으로 설계에 반영된다(Gim et al., 2010; Han et al., 2012).

본 연구는 해양플랜트지원선의 설계선형을 예인수조에서 모델시험 결과를 제시하고, 수치해석을 수행하여 운항해역의 해상환경에서 내항성능특성을 추정하였다.

2. 개발선형 및 주요목

해양플랜트지원선의 형상은 작업의 특징과 해상조건에 따라 다양하게 결정된다. 본 연구에 적용되는 선형은 연안해역 플랜트시설의 작업을 위한 예인과 해상계류 지원용으로 적용되는 중소형급이다. 설계선은 선수벌브형상을 갖는 선형으로 선저는 원형이며 방형계수는 0.45이며 선도는 Fig. 1과 같다.

모형선은 예인수조의 특성을 고려하여 1:10의 축척비를 적용하여 나무와 GRP(Glass Reinforced Plastic)로 제작하였다. 모형시험은 전장길이는 2.7m의 모형선을 제작하여 영국의 QinetiQ의 길이(260 m), 폭(12 m) 및 깊이(5 m)의 선형시험수조에서 수행하였다. 대상선박의 주요목은 Table 1과 같으며 모

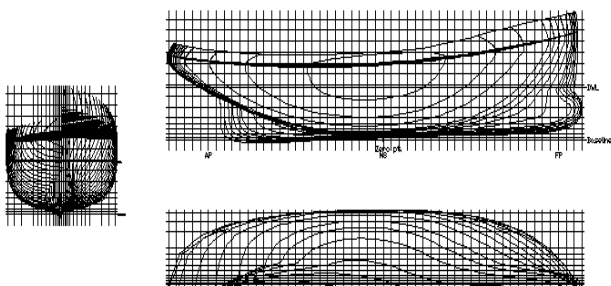


Fig. 1. Lines of platform supply vessel.

Table 1. Characteristics of the ship and the model

Designation	SHIP	Model
Scale ratio (λ)	1	0.1
Length overall (m)	26.75	2.675
Length of waterline (m)	23.90	2.39
Breadth(m)	6.90	0.69
Displacement (tons)	185.9	18.59
V.C.G. (m)	2.875	0.2875
L.C.G. (m)	0.608	0.0608
Draft (d)	2.4	0.24
Bmax (m)	6.95	0.695
Cb	0.451	0.0451

델시험과 수치해석에 각각 적용하였다. 모형선의 저항성능 계측은 4~12노트 영역에서 종방향 중심으로부터 선수로 0.608미터(LCG=0.608 m)와 배수량 185.9톤의 상태에서 실험을 수행하였다. 저항성능 계측을 위해 4~12 노트의 속력 영역에서 종방향 중심으로부터 선수로 0.608미터를 중심으로 예인하였다.

3. 저항성능 평가

선형의 저항계수 계산을 위한 수치해석을 위해 상용 프로그램인 SHIPFLOW와 FLUENT 6.3을 사용하였다. 선형의 조파저항은 비점성 유동장을 고려한 SHIPFLOW의 XSPAN을 이용하여 계산을 수행하였으며, 선체 주위의 점성 유동장을 고려한 해석을 위해 FLUENT를 사용하여 자유수면을 고려한 잉여저항 계산 및 이중모형 해에 의한 형상계수 (k)를 계산하였다. 여기서, $k = \frac{(C_F + C_{VP})_{CFD}}{C_F} - 1$ 로 정의하고, C_F 와 C_{VP} 는

CFD의 이중모형 해에 의한 저항, C_{F0} 는 ITTC-1957 마찰저항곡선을 사용하였다. 수치해석을 통한 알몸선체(barehull) 저항은 Froude 방식과 형상계수를 고려한 Prohaska 방식을 사용하여 결과를 비교하였다. 수치해석을 통한 형상계수는 $(1+k) = 1.294$ 를 얻었으며 결과는 Table 2에 정리하였다.

Table 2. Computed form factor prediction

Designation	Model size
Scale ratio	6
LWL (m)	3.98
Speed (m/s)	1.995
$C_F (\times 10^3)$	3.06
$C_{VP} (\times 10^3)$	0.9842
$C_{F}^{ITTC} (\times 10^3)$	3.126
1+k	1.294

점성유동장을 고려하여 계산한 잉여저항계수와 비점성 유동장을 고려하여 계산한 조파저항계수를 Fig. 2에 비교하였다. 9노트와 10노트 사이에서 일정한 값을 보이다가 다시 증가하였으며 상호 일치하는 경향을 나타냈다. Fig. 3은 10.5노트에서 생성되는 파계에 대한 수치해석 결과이다. Fig. 4은 9노트와 12노트에서 생성되는 파계에 대한 모형시험 결과이다. 발산파의 수가 선속 증가에 따라 감소하며 골과 마루가 증가하는 경향을 보이고 있다. Fig. 5는 선속별 유효마력을 수치해석과 모형실험 결과를 비교한 결과이다. 유효마력은 선속이 증가함에 따라 일정하게 증가하였다. 또한 모형실험과 수치해석 결과가 잘 일치하였다. Fig. 6는 모형실험을 통해 계측한 트림과 침하량을 도시한 결과이다. 트림의 변화는 초기에는 감소하는 경향을 보이다가 8.5노트를 기준으로 11노트까지 증가하였다. 또한 침하량은 선속이 증가함에 따라 선형적으로 감소하는 경향을 나타냈다.

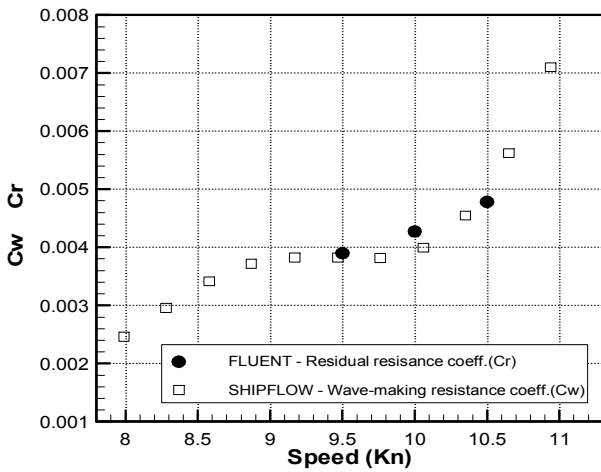


Fig. 2. Comparison of resistance coefficient based on numerical analysis.

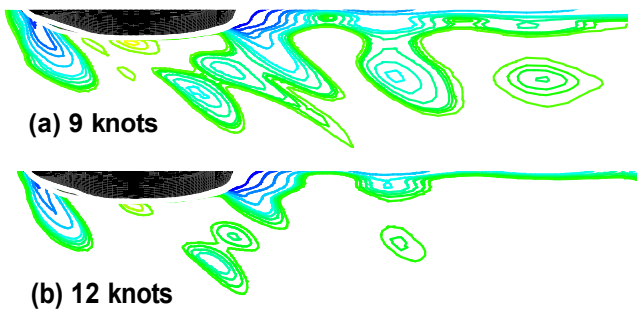


Fig. 3. Wave form development using FLUENT ((a) 9 knots (b) 12 knots).

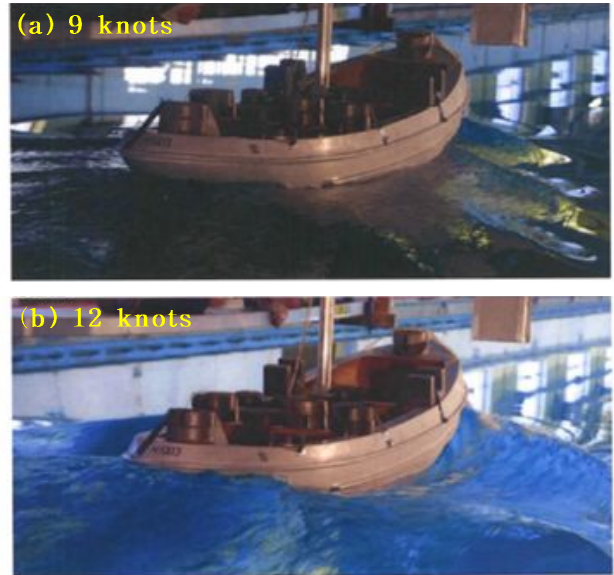


Fig. 4. Aft wave form development of the hull at 9 & 12 knots.

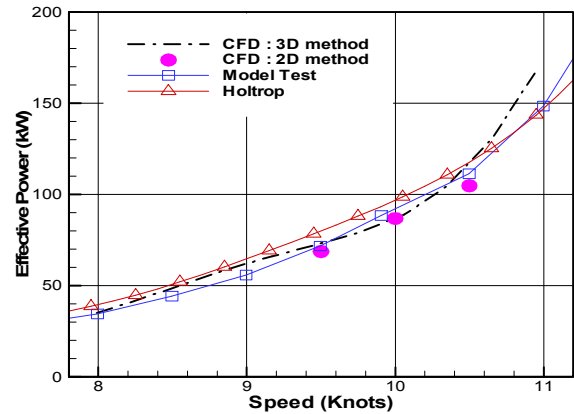


Fig. 5. Comparison of effective power using numerical analysis and experiment.

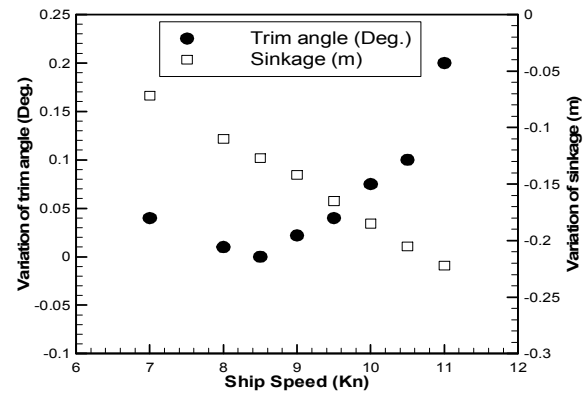


Fig. 6. Sinkage and trim variation for different speed.

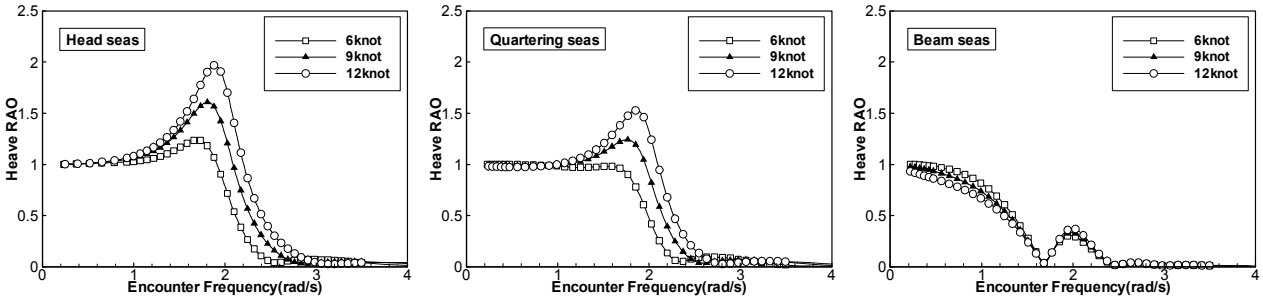


Fig. 7. Heave RAO as a function of speeds and encounter frequency.

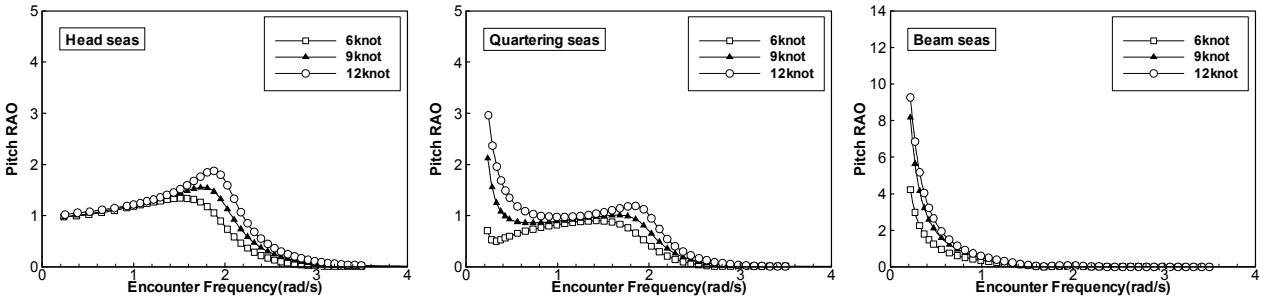


Fig. 8. Pitch RAO as a function of speeds and encounter frequency.

4. 운동성능 평가

설계선의 운동응답특성에 대한 수치해석을 위해 동일한 배수량에서 상용 프로그램 Maxsurf를 사용하였다. 유효마력에 대한 모델시험과 수치해석 결과는 Fig. 5에서와 같이 일치하게 나타났다. 해석조건은 Table 3과 같이 해상조건으로 뷰포트스케일 2, 3 및 4에 따른 유의파고 및 주기를 적용하였다. 입사파의 조우각은 향파 (Head sea, 180°), 선수사파 (Head & Bow sea, 135°) 및 횡파 (Beam sea, 90°)이며, 선속은 6, 9 및 12노트 영역에서 상하동요, 종동요 및 부가저항에 대해 수치해석을 수행하였다. 불규칙파는 식(1)과 같이 ITTC 스펙트럼을 사용하였다.

$$S_{TC}(\omega) = \frac{A}{\omega^5} \exp\left(\frac{-B}{\omega^4}\right) \quad (1)$$

$$A = 172.75 \frac{\overline{H}_{char}}{\overline{T}^4},$$

$$B = \frac{691}{\overline{T}^4},$$

\overline{H}_{char} = 특정파도의 높이(m),

\overline{T} = 평균 파주기(Sec) 이다.

Table 3. Sea state and encounter angles

	Description	H _{1/3} (m)	T (sec)
Sea state (Beaufort Scale)	2. Light	0.1-0.5	3.0
	3. Gentle	0.5-1.25	3.7
	4. Moderate	1.25-2.5	5.0
Encounter angle (deg)	Head sea (180)		
	Bow sea (135)		
	Beam sea (90)		

Fig. 7과 Fig. 8은 선속과 조우주파수에 따른 상하동요 및 종동요에 대한 운동응답진폭비를 비교한 결과이다. Fig. 7의 상하동요 응답진폭비를 보면, 향파와 선수사파에서 조우주파수 1.8~2.0 영역에서 상하동요 응답진폭비가 최대로 나타났다. 횡파에서는 조우주파수 1.8~2.0 영역에서 미소하게 상하동요 응답진폭비가 증가하나 전체적으로 감소하였다. Fig. 8의 종동요 운동응답진폭비는 향파에서 응답주파수 1.8~2.0 영역에서 종동요 응답진폭비가 최대로 나타났고 점차 감소하는 경향을 보였다. 선수사파와 횡파에서는 응답주파수가 0에서 종동요 응답진폭비가 최대로 나타났고 점차 감소하였다.

Fig. 9는 해상조건에 따른 부가저항 해석결과이다. 전체 해상조건에서 저속영역(0~4노트)에서 부가저항이 높은 값을 나타냈다. 그러나 저속영역은 설계선의 운항조건과 큰 관계가 없어 이 영역에 대한 부가저항에 대한 값의 의미가 다소 미소하다. 평온한 해상상태로 간주할 수 있는 뷰포트

해양플랜트지원선의 저항성능과 운동응답특성에 관한 연구

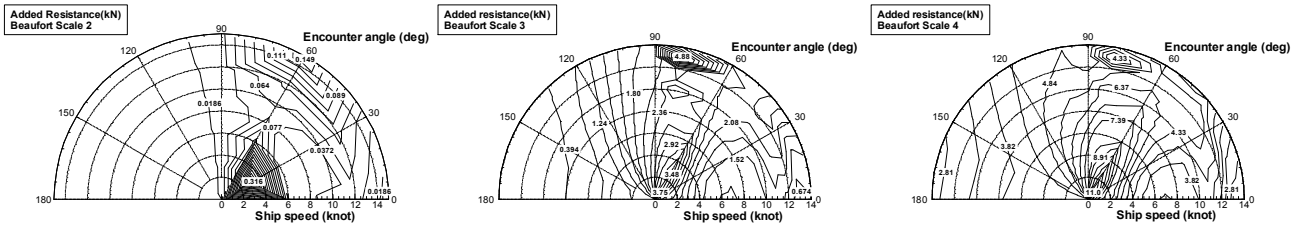


Fig. 9. Added resistance as a function of Beaufort scales.

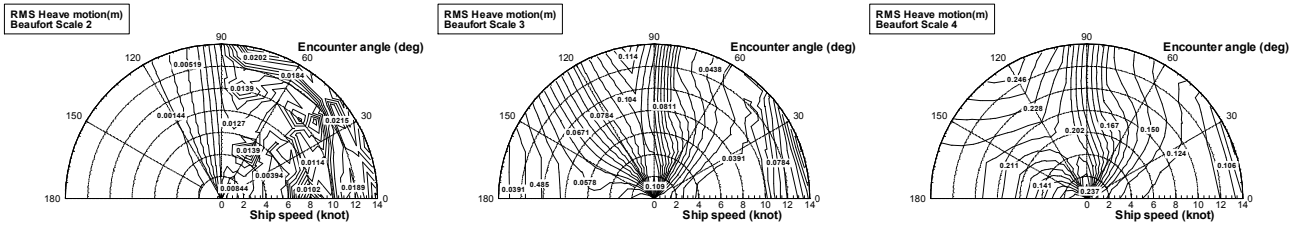


Fig. 10. RMS Heave motion as a function of speed and encounter frequency.

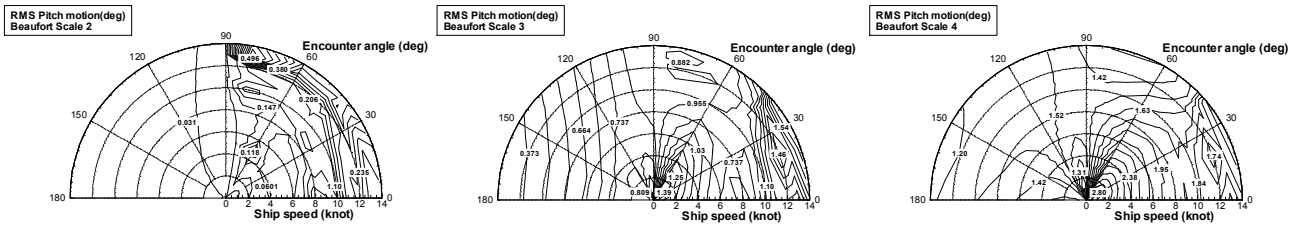


Fig. 11. RMS Pitch motion as a function of speed and encounter frequency.

스케일 2에서는 저속영역을 제외하면 조우각 60° 부근에서 부가저항이 가장 높게 나타났다. 해상조건이 뷰포트스케일 3인 경우에는 선속 12노트 및 조우각 60°~80° 영역에서 부가저항이 가장 높게 나타났다. 또한 해상조건이 뷰포트스케일 4에서는 조우각 60°~100° 영역에서 부가저항이 크게 나타나며 선속이 낮아짐에 따라 값이 증가하였다. 부가저항은 선미사파를 받을 경우에 해상상태가 거칠수록 증가였다. 또한 선속이 낮은 영역에서 파와 선박의 운동응답진폭비에 의한 영향으로 부가저항이 증가하는 경향을 보였다. Table 4에 해상조건에 따른 최대 부가저항이 나타나는 선속과 조우각에 대해 정리하였다.

Fig. 10와 Fig. 11은 해상조건별 선속과 조우각에 다른 운동특성을 해석한 결과이다. Fig. 10는 상하동요 RMS의 결과로 해상조건이 뷰포트스케일 2에서는 조우각이 90°~180° 영역에서는 영향이 거의 나타나지 않았다. 동일한 해상조건에서 조우각 0°~90° 영역에서는 저속영역에서 고속영역으로 선속이 증감함에 따라 상하동요 RMS 값이 증가하는 경향을 보였다. 해상조건이 뷰포트스케일 3에서는 80°~90° 영역에서 선속에 무관하게 높은 상하동요 RMS 값을 보였다. 마찬가지로 뷰포트스케일 4에서도 동일한 경향이 나타났지만 가장 큰 상하동요 RMS 값은 조우각 120°, 12노트 부근에서 나타났다. Table 5에 해상조건에 따른 최대 상하동요 RMS 값이 나타나는 선속과 조우각에 대해 정리하였다.

가치로 뷰포트스케일 4에서도 동일한 경향이 나타났지만 가장 큰 상하동요 RMS 값은 조우각 120°, 12노트 부근에서 나타났다. Table 5에 해상조건에 따른 최대 상하동요 RMS 값이 나타나는 선속과 조우각에 대해 정리하였다.

Table 4. Max. values of added resistance

Beaufort scale	Encounter angle	Ship speed	Added resistance
No. 2	60°	12 kt	0.077 KN
No. 3	80°	13 kt	4.88 KN
No. 4	60°	6 kt	8.5 KN

Table 5. Max. values of RMS heave motion

Beaufort scale	Encounter angle	Ship speed	Heave motion
No. 2	35°	12 kt	0.0215 m
No. 3	80°	4-12 kt	0.0811 m
No. 4	120°	12 kt	0.246 m

Table 6. Max. values of RMS pitch motion

Beaufort scale	Encounter angle	Ship speed	Pitch motion
No. 2	35°	12 kt	0.496 deg
No. 3	30°	12 kt	1.5 deg
No. 4	30°	6 kt	2 deg

Fig. 11은 중동요 RMS의 결과로, 해상조건이 뷰포트스케일 2에서는 조우각 60°~90° 영역 및 고속영역에서 높은 값이 나타났다. 뷰포트스케일 3에서는 선미사파 영역 (20°~40°), 고속영역에서 중동요 RMS 값이 높게 나타났다. 뷰포트스케일 4에서는 저속영역, 조우각이 30° 부근에서 중동요 RMS 값이 높게 나타났다. Table 6에 해상조건에 따른 최대 상하동요 RMS 값이 나타나는 선속과 조우각에 대해 정리하였다.

5. 결론

해양플랜트시설과 함께 지원선의 수요증가로 작업 목적에 따른 선형개발이 필요함에 따라 중소형 해양플랜트지원선의 모델시험과 내항성능 추정결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 해양플랜트 지원선형을 개발하기 위해 점성유동을 고려한 FLUENT와 비점성 유동을 고려한 SHIPFLOW를 사용하여 선체의 잉여저항, 형상계수와 조파저항을 해석하였다. 수치해석을 통한 알몸선체 저항은 Froude 방식과 Prohaska 방식을 사용하였으며, 모형시험을 통한 수치해석 결과를 검증하였으며 결과가 잘 일치함을 확인하였다.
2. 상하동요 응답진폭비는 향파와 선수사파에서 조우주파수 0.8~1.0 영역에서 크게 나타났으며, 선수사파와 고속영역에서 높은 운동특성을 보였다. 중동요 응답진폭비는 향파에서 조우주파수 1.8~2.0 영역에서 크게 나타내며, 거친 해상에서 선미사파 및 고속영역에서 높은 운동특성을 보였다.

본 연구는 파랑 중 해양플랜트지원선의 안전한 운항과 작업환경을 위한 선형개발에 적용이 가능하리라 판단된다. 또한 저항계측과 제한적인 운동특성에 대해 추정하였지만, 높은 GM값을 갖는 만재상태에서 낮은 건현인 경우와 이와 반대되는 경우에서 동적 안정성 특히 횡동요에 대한 연구의 필요성을 남기고 있다. 이와 더불어, 해양플랜트지원선은 갑판 면적에 대한 의존도가 높아 재화상태에서 브로칭 현상에 대한 해석이 요구된다.

참고 문헌

- [1] Gim, O. S., W. J. Oh, C. B. Shon and G. W. Lee(2010), Characteristics on the Motion Response of a Catamaran Power Yacht, Journal of Navigation and Port Research, Vol. 34, No. 6, pp. 447-452.
- [2] Han, S. J., I. C. Kim, D. K. Oh, G. W. Lee and O. S. Gim(2012), Longitudinal Motion Analysis in Multi-Directional Irregular Waves for a Training Ship using Commercial Code, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 18, No. 2, pp. 153-159.
- [3] In, J. G., S. W. Kim, S. J. Jo, G. D. Ok, M. Y. Kim, S. K. Bae, J. G. Min and C. H. Lee(2013a), On the Conceptual Design of Worldwide PSV, Proceedings of the Korean Association of Ocean Science and Technology Societies, pp. 993-998.
- [4] In, J. G., S. W. Kim, S. J. Jo, M. Y. Kim and S. C. Kim(2013b), Characteristics and Concept of Worldwide PSV, Proceedings of the Korean Association of Ocean Science and Technology Societies, pp. 988-992.
- [5] Kim, M. S.(2012), On the Entry Strategy of Brazil OSV Markets, Proceedings of the Korean Institute of Navigation and Port Research, pp. 271-273.
- [6] Kim, S. C., M. Y. Kim and D. H. Kim(2013), A Study on the Characteristics of PSV Structural Strength, Proceedings of the Korean Association of Ocean Science and Technology Societies, pp. 661-665.
- [7] Park, K. S. and J. A. Lee(2012), On the Entry Strategy and Status of OSV Markets, Proceedings of the Korean Institute of Navigation and Port Research, pp. 265-267.
- [8] Vladimir, S., M. Ould, E. S. Thomas, K. Jan and S. Rasmus(2012), Assessing the Dynamics Stability of an Offshore Supply Vessel, Vol. 134, pp. 1-9

원고접수일 : 2013년 06월 10일

원고수정일 : 2013년 07월 25일

게재확정일 : 2013년 08월 28일