Long-term Loads based on Evaluation of Resistance and Seakeeping Performances for a Desalination Plant Ship

Jae-bin Lee^{ID*}, Kwang-Jun Paik^{ID*} and Joonmo Choung^{ID*}

^{*}Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Inha University, Incheon, Korea

해상 이동형 해수담수화 플랜트 선박의 저항 및 내항 성능 평가에 따른 장기 하중 추정

이재빈^{ID*} · 백광준^{ID*} · 정준모^{ID*}

^{*}인하대학교 조선해양공학과

KEY WORDS: Desalination plant ship, 해수담수화 플랜트 선박, Resistance performance, 저항 성능, Effective horse power, 유효 마력, Seakeeping performance, 내항 성능, Vertical shear force, 수직 전단력, Vertical bending moment, 수직 굽힘 모멘트

ABSTRACT: Desalination plant ships have been recently regarded as one of the probable solutions for drought seasons in many countries. Because desalination plants should be mounted on the desalination ships and special purpose storages such as salty waste water tanks are necessary, onboard and compartment arrangements would be distinguished from those of other conventional commercial ships. This paper introduces some basic design procedure including resistance/propulsion and seakeeping performances. The ship lines were improved step by step after modification of the ship lines and verification of resistance/propulsion performances using computational fluid dynamics (CFD). After finalization of the ship lines, the seakeeping performance was also evaluated to check motion behaviors and drive wave-induced loads such as the wave shear force and bending moment. It was proved that the predicted long-term vertical wave shear force and bending moment were significantly less than the rule-based ones, thus it is expected that the deliverables of this study will reduce the construction cost of desalination plant ships.

1. 서 론

1980년대 이후 인구 증가, 사회경제적 발전 및 소비 패턴의 변화로 물 소비량이 전 세계적으로 증가하고 있으며, 2050년이 되면, 전 세계 인구의 40%는 심각한 물 부족을 겪을 것으로 예상하고 있다 (WWAP, 2014). 2003년 국제인구행동연구소에 따르면 1인당 이용가능한 수자원량을 기준으로 한국은 물 부족 국가로 분류되었다. 인구 대비 좁은 국토 면적과 계절별 강수량의 편차가 심하기 때문으로 분석된다. 물 부족 문제를 해결하기 위해 지속적인 수자원 개발 및 상수도 확충에 노력하였으나, 상수도 시설 도입이 어려운 일부 해안, 도서 지역은 현재까지 물 부족 문제를 해결하지 못하고 있다. 상수도 시설 도입의 대체 방안으로 해수담수화 시설을 확충하여 물 부족 문제를 해결하고자 하였으나, 도서지역에 설치된 소규모 고정식 해수담수화 시설은 높은 운영 비용과 유지관리의 어려움으로 인하여 근본적인 해결책에 되지 못하고 있는 실정이다.

Fig. 1 Concept for a desalination plant ship (Hyflux, 2014)

이러한 배경에 의해 물 부족 문제를 해결하기 위한 새로운 수자원 공급 방법으로서 해상 이동형 해수담수화 플랜트 선박이 부각되고 있다. Fig. 1은 싱가포르에서 제안한 해상 이동형 해수담수화 플랜트 선박의 개념도이다(Hyflux, 2014). 담수화 플랜트

Received 7 October 2019, revised 24 October 2019, accepted 14 November 2019

Corresponding author Joonmo Choung: +82-032-860-7346, jmchoung@inha.ac.kr ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1407-9031>

© 2019, The Korean Society of Ocean Engineers

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.

설비가 선박에 탑재되어 해상에서 이동이 가능하며, 해수로부터 담수를 생산하여 이를 외부로 공급이 가능한 선박이다. 지역적으로 가뭄 또는 재난 발생 지역으로 이동하여 신속히 물을 공급할 수 있다. 즉, 대체 수자원 확보와 비상 용수 공급의 기능을 동시에 가능하게 하며, 기존 육상 해수담수화 플랜트의 한계를 극복하는 기술로서 주목받고 있다.

해상 이동형 해수담수화 플랜트 선박은 선박으로서의 고유 기능과 해수담수화 플랜트의 성능을 동시에 발휘할 수 있어야 한다. 해수담수화 플랜트 설비(Reverse osmosis, RO)의 배치와 저장수 탱크(Filtered water tank, FDWT), 농축수 탱크(Waste water tank, WWT), 생산수 탱크(Produced water tank, PWT)와 같이 다양한 화물창을 고려하여 선박의 형상 설계가 수행되어야 하며, 이를 검증하기 위한 체계적인 연구가 필요하다. 해상 이동형 해수담수화 플랜트 선박을 안전하게 운항하기 위한 선박 설계 측면에서의 평가 항목은 저항/추진, 내항, 구조 강도, 국부 진동 등이다.

전산유체역학(Computational fluid dynamics, CFD)를 이용한 선박의 저항 및 마력 추정에 대한 연구는 모형선 실험에 비하여 높은 가성비비를 나타내는 것으로 알려져 있다(Yang et al., 2009; Jasak, 2009; Kim et al., 2010; Seo et al., 2010; Borkowski et al., 2011; Kristensen and Lützen, 2013). 따라서 본 연구에서는 해상 이동형 해수담수화 플랜트 선박의 저항/추진 성능 평가를 위하여 CFD를 이용하고자 한다. 초기에 개발한 선형에 대한 CFD 결과 (유동장 및 압력장)를 바탕으로, 선형을 개선하는 과정을 기술할 것이다.

저항/추진 성능 평가를 바탕으로 선정된 선형에 대하여 내항 성능 평가를 실시하고자 한다. 내항 성능은 모형 시험과 포텐셜 이론에 기반한 수치 해석법에 의하여 검증이 가능하다. 최근 수치 해석 기법은 모형 시험에 준하는 높은 정확도를 나타내고 있다고 알려져 있다(Grigoropoulos, 2004; Kadir and Ebru, 2005; Begovic et al., 2014; Kim et al., 2014; Coraddu et al., 2014). 이러한 내항 성능 수치 해석 결과로부터 구조 설계에 필요한 장기 하중값을 제시하고자 한다.

2. 해상 이동형 해수담수화 선박

Fig. 2는 싱가포르 Hyflux에서 제시한 선박 탑재형 해수담수화 선박의 개념도이다. 선장 112.5m, 선폭 28m였으며, 일일 담수 생산량은 30,000톤이다. 본 연구에서는 갈수 경험 많은 국내 서남해 도서 지역의 집안 수심과 인구 등을 조사하여 일일 담수 생산량을 300톤으로 결정하였다. 서남해 도서 지역 해수담수화 시설에서 신안군 홍도의 일일 생산량 약 500톤을 제외하면 도서 지역 일일 담수 생산량은 평균 약 60톤이다. 따라서 300톤 규모의 일일 담수 생산 용량은 충분한 것으로 판단된다(K-water, 2018).

이 선박은 역 삼투압 방식의 해수담수화 설비(Ashkelon-type seawater reverse osmosis, SWRO)를 탑재하고 있다. 이를 바탕으로 국내 환경에 적합하도록 저출수형 해상 이동형 해수담수화 플랜트 선박 도면을 설계하였다. 담수의 공급은 갈수기의 지속에

Fig. 2 Concept design of offshore shipboard desalination plant ship (Hyflux, 2014)

Fig. 3 General Arrangement of Model 3

Table 1 Principal dimensions for desalination plant ships

	Model 1	Model 2	Model 3
Length B. P. [m]	62.7	62.7	62.7
Breadth [m]	24.0	24.0	24.0
Depth [m]	4.5	4.5	4.5
Draft [m]	3.5	3.5	3.5
Displacement [t]	5746.2	5728.5	4923.8
Design speed	5.0 knot (9.26 km/h)	5.0 knot (9.26 km/h)	5.0 knot (9.26 km/h)
Max. speed	10.0 knot (18.52 km/h)	10.0 knot (18.52 km/h)	10.0 knot (18.52 km/h)

따라서 필요하고, 따라서 도서 지역의 항로와 시기를 예측할 수 있으므로, 본 선박의 설계 속도는 5knot(9.26km/h)로 결정되었다. Model 3에 대한 일반 배치도 및 주요 치수를 Fig. 3에 제시하였으며, 3가지 선형(Model 1, Model 2, Model 3)에 따른 주요 치수를 Table 1에 정리하였다. 3가지 선형에 대한 설명은 3장에서 자세하게 설명되었다.

3. 저항 성능 평가

본 연구에서는 해상 이동형 해수담수화 플랜트 선박에 대한 저항을 추정하기 위해 상용 유동 해석 프로그램인 Star-CCM+를 활용하였다(Simens, 2013).

3.1 선형 개선

Fig. 4에서 Model 1은 초기 설계된 선형을 나타낸다. 이 초기 선형에 대한 CFD 결과를 바탕으로 두차례의 선형 개선을 수행하였다. 즉, 선수 진입각(Bow entrance angle, BEA)을 약 5°감소시켰으며, 이를 Model 2라고 명명하였다. Model 2에 대한 CFD 결과를 바탕으로 만곡부 약 1m의 선측 만곡부를 도입하였다. 이를 Model 3이라 명명하였다. 또한, 선미부 형상의 영향을 파악하기 위해 Model 2와 Model 3의 선미부는 선형으로 수정하였다. 각 Model의 주요 치수를 Table 1에 제시하였다. 선측 만곡부의 도입으로 인하여 Model 3의 배수량은 Model 1 및 Model 2에 비하여 상당히 감소하였음을 확인할 수 있다.

3.2 CFD 모델링

선박의 유동 해석을 위해서 지배 방정식으로 연속방정식과 3차원 비압축성 Reynolds averaged Navier-Stokes(RANS) 방정식을 사용하였으며 아래와 같이 표기할 수 있다.

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + \nu \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_i \partial x_j} \quad (2)$$

여기서 u_i 는 i 방향 유속, ρ 는 밀도, P 는 압력, ν 는 점성 계수

지배 방정식을 풀기 위해서 각 유한 체적별로 적분을 취하여 인접하고 있는 유한 체적 내 그리드 점에서의 물리량들과 상관 관계를 구성하여 근사해를 구하는 유한 체적법을 사용하였다. 이를 구현하기 위한 소프트웨어는 상용 수치해석 프로그램인 Star-CCM+ 13.02 버전이었다. 경계층의 난류를 표현하기 위하여 $k - \epsilon$ 난류 모형을 사용하였다. 이 난류 모형의 장점은 격자를 선체 표면 가까이 분포시킬 필요가 없어서 합리적인 격자수로 계산을 진행할 수 있다는 점이다. 또한 자유 수면을 구현하기 위해 고정된 오일러(Euler) 격자계에서 위상 사이의 경계면을 추적하는 방법으로서 VOF(Volume of fraction)법을 사용하였다. 이는 두 종류 이상의 섞이지 않는 유체가 경계면을 형성할 때 주로 사용된다. 각 상은 하나의 운동량 방정식 군으로 지배되고 각 상의 기포율이 해석 영역 내에서 격자 단위로 계산된다. 상세한 모델링 조건을 정리하여 Table 2에 제시하였다.

Model 1에 대하여 생성한 격자를 Fig. 5에 나타내었다. 이때 적용된 좌표계는 일반적인 선박 좌표계와 동일하다. 모델에 따른 격자의 수를 Table 3에 제시하였다. 격자의 수를 줄이고 계산 효율을 높이기 위하여 선박의 중심선을 따라 대칭 조건(Symmetry condition)을 적용하였다. 선체의 표면에는 점착조건(No-slip condition)을 적용하였다. 해석 영역의 입구면, 상부면, 바닥면에 속도 조건(Velocity inlet)을 적용하였으며, 출구면에는 압력 조건(Pressure outlet)을 적용하였다. 설계 선속을 감안하여 선체 표면에서 격자 간격 y^+ 는 3가지 선형에 대하여 60을 적용하였다.

Fig. 4 Three models for resistance evaluations

Fig. 5 Computational domain, boundary conditions, and grid structure for Model 1

Table 2 Summary for CFD simulations

Items	Contents
Time term	1st order backward difference scheme
Diffusion term	2nd order central difference scheme
Convection term	2nd order upwind difference scheme
Pressure-velocity coupling	SIMPLE algorithm
Free surface model	Volume of fluid (VOF)
Turbulence model	Realizable $k - \epsilon$ model
Wall function	Two-layer formulation of Wolfstein

Table 3 The number of grids

Model	Number of grids
Model 1	2,629,746
Model 2	1,973,554
Model 3	1,975,118

3.3 저항/추진 성능 평가 결과

본 절에서는 해상 이동형 해수담수화 플랜트 선박의 운항 속도(정속 운항 5knot(9.26km/h) 및 최대 운항 10knot(18.52km/h))에 대하여 선형별 저항 성능 해석 결과를 비교하였다. Fig. 6(a) 및 Fig. 6(b)는 선속 5knot(9.26km/h)와 10knot(18.52km/h)에 대한

선수와 선미에서의 압력 분포를 보여주고 있다. 선수부의 전단에서 유동 정체점이 발생하여 높은 압력이 형성되는 것을 3가지 선형에서 관측할 수 있다. Model 1의 선수부 압력 분포가 Model 2 및 Model 3에 비하여 상대적으로 높은 것을 확인할 수 있다. 이로 인하여 Model 1의 저항이 증가했을 것으로 추정할 수 있다. 반면, Model 3의 선미부 압력은 Model 1 및 Model 2의 압력에 비하여 낮은 분포를 보이며, 비교적 완만한 압력 구배가 관측되었다. 특히 Model 1의 선미 선형의 급격한 변화로 인하여 높은 압력과 와류로 인한 낮은 압력이 인접하여 형성되는 것을 볼 수 있다. Model 2와 Model 3의 선미 선형 변화가 Model 1에 비하여 상대적으로 적으므로, 와류 생성이 억제되어 선미 끝단에서 높은 압력이 생성된 것으로 추정된다.

Fig. 7은 선속별 파고 분포이다. 5knot(9.26km/h)선속에서 Model 1에 의한 선체 측후면 파고는 Model 2와 Model 3보다 상대적으로 큰 것을 확인할 수 있다. 이는 선수 진입각의 영향으로 추정할 수 있다. Model 1에서 선수부의 파고차가 Model 2와 Model 3보다 크게 발생한 것도 관측할 수 있다. 이 같은 현상은 10knot(18.52km/h) 보다는 저속에서 뚜렷하게 관찰된다.

CFD 해석을 통하여 얻은 전저항(Total resistance, R_T)으로부터 유효 마력 (effective horse power, EHP)을 추정하여 Table 4에 정리

Fig. 6 Pressure distributions

Fig. 7 Wave height distributions

Table 4 Comparison of total resistances and EHP (effective horse power)

Velocity [knot]	Type 1		Type 2		Type 3	
	R_T [N]	EHP [kW]	R_T [N]	EHP [kW]	R_T [N]	EHP [kW]
5 (9.26 km/h)	35,480	91	27,480	70	21,354	54
10 (18.52 km/h)	170,961	879	128,790	662	106,481	547

하였다(ITTC, 1978). 모든 선속에서 Model 3의 EHP가 가장 낮게 추정되었다. 10knot (18.52km/h) 선속에서 Model 3의 EHP가 Model 1에 비하여 약 38% 감소하였다. 저항 성능 및 마력 예측을 통하여 본 연구에서는 Model 3을 해상 이동형 해수담수화 선박의 선형으로 결정하였다.

4. 내항 성능 평가

내항 해석을 통하여 단위 파괴를 가지는 입사파에 대한 선박의 주파수 응답(Response amplitude operator, RAO)을 도출할 수 있다. 이를 이용하여 해상 이동형 해수담수화 플랜트 선박의 파

랑중 안정성과 파랑 하중을 도출할 수 있다. 본 연구에서는 상용 내항 해석 코드인 Ansys/Aqwa를 사용하였다(Ansys, 2018).

4.1 내항 해석 모델링

Fig. 3은 저항 성능 평가를 통하여 최종 결정한 Model 3에 대한 일반 배치도이다. 이를 바탕으로 질량 정보(배수량, 질량 중심, 질량 2차 모멘트)를 추정하여 Table 5에 제시하였다. 여기서 질량 중심은 선미 수선(After perpendicular, AP)과 기선(Baseline, BL)으로부터의 위치를 나타낸다. 또한 본 연구에서 고려한 하중 조건(Loading condition)은 평형수 조건 및 만재 조건이다.

Ansys/Aqwa에 사용하기 위한 패널 요소(Panel element)의 모델링을 위하여 구조 해석 전용 전후 처리기인 Altair/Hypermesh(참고문헌에 없습니다. (년도 확인해주세요.)Altair, 2015)를 사용하였다. 선수부와 같이 곡률이 작은 부분을 기준으로 패널 요소를 생성하였기 때문에 약 3,800개의 패널 요소가 생성되었다(Fig. 8 참조).

해석에 고려된 속도는 운항 속도 5노트로 고려하였으며, 파도의 입사각은 파향 단위 표시 다릅니다. 확인해주세요. 0°부터 180° 까지 30° 간격으로 동일한 입사각 발생 확률을 가정하였다. 운동 응답만을 관찰한다면 비교적 좁은 범위의 파랑 주파수 범위를 고려해도 되지만, 구조 강도 검토를 위해서는 파랑 스펙트럼($S_w(\omega)$)을 표현할 수 있을 정도의 넓은 범위의 주파수 사용이 요구된다. 본 연구에서는 Choung et al.(2016)이 연근해 선박에 적용하였던 주파수를 적용하였다. 즉, 본 연구에서 적용한 최소 및 최대 파랑 주파수는 0.100rad/s 및 3.676rad/s이며, 총 주파수 개수는 44개이다. 본 대상 선박의 선형은 바지선과 유사하게 평저형이므로, 유선형의 일반 선박보다는 횡 동요(Roll)로 인한 점성 감쇠가 클 것으로 예측되었다. 일반적인 상선의 횡 동요

Table 5 Mass and Center of mass information

Components	Ballast condition	Full load condition
xc [m]	30.74	32.24
yc [m]	0.00	0.00
zc [m]	2.68	3.04
Ixx [t·m ²]	1.01E+05	2.36E+05
Iyy [t·m ²]	6.99E+05	1.13E+06
Izz [t·m ²]	7.90E+05	1.33E+06
Displacement [t]	2032.35	4822.41
Draft [m]	1.6	3.48

Fig. 8 Panel model for full load condition (Altair, 2019)

감쇠비는 통상 5% 내외로 알려져 있으며, 본 연구에서는 횡 동요로 인한 하중의 보수적 평가를 위하여 5% 감쇠비를 적용하였다.

4.2 내항 해석 결과

본 연구에서는 6자유도 운동 성분 중에서, 반복 운동 성분인 상하 동요(Heave), 횡 동요, 그리고 종 동요(Pitch)에 관한 RAO를 Fig. 9에 나타내었다. 일반적인 상선과 유사하게 횡파(입사각 90도)에 대한 상하 동요 RAO는 저주파수에서 1.0에 근사하는 것을 확인할 수 있다. 횡 동요의 공진 RAO는 횡파에서 가장 크게 발달하였으며, 1.0rad/s 내외에서 횡 동요 공진이 발생하였다. 종 동요를 가장 크게 발생시키는 입사각은 선수파(180도) 및 선미파(0도)였으며, 횡 동요 각도에 비하여 크게 발달하지 않는 것을 확인할 수 있었다.

4.3 하중의 장기 응답값 추정

길이가 긴 선박에 있어서 가장 중요한 하중 성분은 수직 전단력(Vertical shear force, VSF)과 수직 굽힘 모멘트(Vertical bending moment, VBM)이다. VSF 및 VBM은 통상 정수 중과 파랑 중에서 각각 발생한다. 내항 해석을 위하여 입력한 길이 방향 질량 분포와 부력 분포를 이용하여 정수 전단력(Still water vertical shear force, VSF_{sw}) 및 정수 굽힘 모멘트(Still water vertical bending moment, VBM_{sw})을 도출하여 Fig. 10에 제시하였다. 만재 조건에서 계산된 VSF_{sw} 는 DNVGL 선급 규칙(DNVGL, 2017)에 따른 VSF_{sw} 과 유사한 수준의 최대값을 보여준다. 그러나 평형수 조건에서 계산된 VSF_{sw} 가 선급 규칙에 따른 값보다 크게 발달하였음을 확인할 수 있다. 이러한 현상은 평형수 조건의 VBM_{sw} 에서도 관찰된다. 또한 평형수 조건에서 선수부 VBM_{sw} 은 0에 수렴하지 않는 것을 확인할 수 있다. 이러한 문제는 향후 화물창 재배치를 통하여 해소할 수 있을 것으로 판단된다.

내항 해석으로부터 파랑 수직 전단력(Wave vertical shear force, VSF_{wv}) RAO 및 파랑 굽힘 모멘트(Wave vertical bending moment, VBM_{wv}) RAO를 얻을 수 있었다. VSF_{wv} 와 VBM_{wv} 의 장기 응답을 추정하기 위해서는 운항 해역에 대한 파 빈도 분포표가 요구된다. 본 연구에서는 Choung et al.(2016)이 조사한 연근해 파랑 데이터를 적용하였다(Table 6 참조). 또한 식 (3)과 같은 수정 P-M 스펙트럼 (Modified Pierson-Moscowitz spectrum)을 이용하여 응답 스펙트럼($S_r(\omega)$)을 표현하였다. VSF_{wv} 와 VBM_{wv} 의 스펙트럼은 식 (4)의 각각의 RAO를 대입하여 도출할 수 있다. 이때 식 (5)-(6)을 이용하여 다방향파 효과를 고려한다. 본 연구에서는 다방향파 지수(n)를 2.0으로 가정하였다. 이러한 다방향파 효과를 포함하는 응답 스펙트럼의 m 차 모멘트(m_m)를 식 (7)과 같이 정의할 수 있다. 파도 특성이 정상성(Gaussian distribution)과 협대역성(Narrow band)을 만족하는 경우, 파고의 단기 분포는 레일리 분포(Rayleigh distribution)를 나타내고, 장기 분포는 와이블 분포(Weibull distribution)로 근사될 수 있다. 이때 응답 스펙트럼의 0차 모멘트 m_0 (응답 스펙트럼의 면적)이며, m_0 는 와이블 누적 분포 함수(Cumulative probability density function)의 상수로 사용된다(식 (8) 참조). 이러한 수학적 계산 과정을 통하여 VSF_{wv} 와 VBM_{wv} 의 장기 분포를 추정하였다.

Fig. 9 Motion RAOs

Fig. 10 Comparison with results of DNVGL code and VSF_{sw} / VBM_{sw}

Fig. 11 Longterm analysis results for VSF_{wv} and VBM_{wv}

Table 6 Wave scatter diagram

Sea state #	H_s [m]	T_z [s]	Probability
01	0.5	3	0.1157
02	0.5	5	0.2925
03	0.5	7	0.2299
04	0.5	9	0.0664
05	0.5	11	0.0221
06	0.5	13	0.0099
07	1.5	5	0.0404
08	1.5	7	0.1274
09	1.5	9	0.0800
10	1.5	11	0.0158

$$S_w(\omega) = 4\pi^3 \frac{H_s^2}{T_z^4} \frac{1}{\omega^5} \exp\left[-\frac{16\pi^3}{T_z^4} \cdot \frac{1}{\omega^4}\right] \quad (3)$$

$$S_r(\omega) = \text{RAO}^2 \cdot S_w(\omega) \quad (4)$$

$$f(\phi) = K \cos^n \theta \quad (5)$$

$$\int_{\theta-0.5\pi}^{\theta+0.5\pi} f(\phi) d\phi = 1.0 \quad (6)$$

$$m_m = \int_{\theta-0.5\pi}^{\theta+0.5\pi} f(\phi) d\phi \int_0^\infty \omega^m S_r(\omega) d\omega \quad (7)$$

$$p(x \geq x_0) = \exp\left(-\frac{x_0^2}{2m_0}\right) \quad (8)$$

여기서 ϕ 는 해당 입사각에 대한 주변 입사각의 상대 각도, K 는 식 (6)이 만족되도록 설정한 정규화 변수, $p(x \geq x_0)$ 는 변수가 특정값 x_0 이상일 확률

발생 확률 수준에 따른 결과를 Fig. 11에 제시하였다. 20년 재현 주기 기준으로 산정한 최대 하중의 발생 확률은 대략 10^{-8} 수준이다. 이때 DNVGL(2017)에 근거한 VSF_{wv} 및 VBM_{wv} 는 추정치에 비하여 상당히 큰 것을 확인할 수 있다. 따라서 선급 규칙

에 따른 구조 설계를 진행할 경우 상당히 보수적인 설계와 이에 따른 비용의 증가가 예상된다.

5. 결 론

본 논문에서는 해상 이동형 해수담수화 플랜트 선박의 주요 치수 및 일반 배치도를 소개하였다. 본 선박에 대한 저항 및 마력 성능을 평가한 결과를 바탕으로 선형을 개선하였다. 개선한 선형은 유체의 압력 분포 및 파고 분포에 있어서 이전 선형에 비하여 개선된 결과를 보여주었다. 또한 선형 개선을 통하여 38% 정도의 마력을 감소시키는 효과가 있음을 확인하였다.

평형수 조건 및 만재 조건에 대한 내항 해석을 실시하였다. 내항 성능은 운동 RAO를 위주로 평가되었으며, 일반 상선과 유사한 경향의 상하 동요, 횡 동요 및 종 동요가 발생할 수 있음을 확인하였다. 문헌 조사를 통하여 국내 연근해에 해상 상태를 이용하여 파랑 수직 전단력 및 파랑 굽힘 모멘트를 추정하였다. 20년 재현 주기에 상응하는 장기 하중을 선급 규칙과 비교한 결과 상당히 작은 수준의 파랑 하중이 생성된다는 것을 확인하였다. 따라서 향후 구조 설계에 큰 영향을 미칠 것으로 예측하였다.

본 연구 결과는 향후 해상 이동형 해수담수화 플랜트 선박의 구조 설계에 활용될 수 있을 것으로 예측된다. 향후 화물창 재배치를 통하여 정수 중 및 파랑 중 하중의 크기를 감소시키는 노력이 요구된다.

후 기

본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 플랜트연구사업의 지원을 받아 연구되었습니다(과제 번호 146836).

References

- Altair, 2019. HyperWorks/HyperMesh. Troy MI, United States.
- ANSYS Inc., 2018. ANSYS/AQWA Version 19.1.
- Begovic, E., Bertorello, C., Pennino, S., 2014. Experimental Seakeeping

- Assessment of a Warped Planing Hullmodel Series. *Ocean Engineering*, 83, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2014.03.012>
- Borkowski, T., Kasyk, L., Kowalak, P., 2011. Assessment of Ship's Engine Effective Power Fuel Consumption and Emission Using the Vessel Speed. *Journal of KONES Powertrain and Transport*, 18(2), 31-39.
- Choung J., Jo H., Lee K., Lee W.Y., 2016. Study on Structural Safety of Car Securing Equipment for Coastal Carferry: Part I Estimation of Hull Acceleration Using Direct Load Approach. *Journal of Ocean Engineering and Technology*, 30(6), 440-450. <https://doi.org/10.5574/KSOE.2016.30.6.440>
- Coraddu, A., Figari, M., Savio, S., Villa, D., Orlandi, A., 2014. Integration of Seakeeping and Powering Computational Techniques with Meteo-marine Forecasting Data for In-service Ship Energy Assessment. *Developments in Maritime Transportation and Exploitation of Sea Resources: Proceedings of 15th International Congress of the International Maritime Association of the Mediterranean*, IMAM 2013, 1, 93-101.
- DNVGL, 2017. Rules For Classification; Ship Part3 Chapter 4.
- Grigoropoulos, G.J., 2004. Hull form Optimization for Hydrodynamic Performance. *Marine Technology and SNAME News*.
- Hyflux, 2014. Hyflux Launches 30 Mld Floating Desalination Production Vessel Design. [Online] (Updated July 2014) Available at: <<https://www.hyflux.com/featured-stories/hyflux-launches-30-ml-d-floating-desalination-production-vessel-design/>> [Accessed 4 Oct. 2019].
- ITTC, 1978. Report of Performance Committee: 15th ITTC Hague, Netherlands. September, 359-392
- Jasak, H., 2009. OpenFOAM: Open Source CFD Research and Industry. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, 1(2), 89-94. <https://doi.org/10.2478/IJNAOE-2013-0011>
- Kadir, S., Ebru, N., 2005. Effect of Criteria on Seakeeping Performance Assessment. *Ocean Engineering*, 32(10), 1161-1173. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2004.12.006>
- Kim, M.C., Park, W.-G., Chun, H.-H., Jung, U.-H., 2010. Comparative Study on the Performance of POD Type Waterjet by Experiment and Computation. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, 2(1), 1-13. <https://doi.org/10.2478/IJNAOE-2013-0014>
- Kim, D.J., Kim, S.Y., Kim, S.H., Seo, J.H., Rhee, S.H., 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/SNAK.2014.51.5.369>
- Kristensen, H., Lützen, M., 2013. Prediction of Resistance and Propulsion Power of Ships. *Emissionsbeslutningsstøttesystem*, Work Package 2, Report No. 04.
- K-water, 2018. Status of Consignment Operation of K-water Desalination Facilities. [Online] Available at: <https://www.kwater.or.kr/gov3/sub03/annoView.do?seq=3036&cate1=4&s_mid=1810> [Accessed 4 Oct. 2019]
- Seo, D.W., Lee, S.-H., Kim, H., Oh, J.K., 2010. A Numerical Study for the Efficacy of Flow Injection on the Diminution of Rudder Cavitation. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, 2(2), 104-111. <https://doi.org/10.2478/IJNAOE-2013-0025>
- Simens, 2013. STAR-CCM+ User Manual. v6.02.007.
- WWAP (UNESCO World Water Assessment Programme), 2014. The United Nations World Water Development Report. Paris, UNESCO.
- Yang, J., Rhee, S.H., Kim, H., 2009. Propulsive Performance of a Tanker Hull form in Damaged Conditions. *Ocean Engineering*, 36(2), 133-144. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2008.09.012>