

Cape Size Bulk Carrier 최적 선형 개발 연구

김현정^{†*}, 이무열*, 이창훈*, 최영달*

STX 조선(주) 조선해양연구소*

A Study of the Optimum Hull Form Development for Cape Size Bulk Carrier

Hyun Jung Kim^{†*}, Moo Yeol Lee*, Chang Hoon Lee* and Young Dal Choi*

STX Shipbuilding Co., Ltd. Shipbuilding & Ocean Research institute *

Abstract

A hull form is 181K DWT Bulk Carrier, of which new design and hull form have been developed using CFD tools and model tests. The basic concept design of hull form has been carried out with considering the factors, which are a lot of influence of the wave and viscosity resistance. The considered factors of particular are LCB, DLWL shape, stern and stem profile, Cp-curve shape, etc. Numerical calculations are carried out in the initial design stage and experimental model tests are also carried out in towing tank of MOERI. The variation of the significantly effective characteristics is carried out to achieve optimized hull form. The results from numerical calculations and model test as well as the design procedures to obtain an optimized hull form present in this paper.

※Keywords: Hull Form(선형), CFD(계산유체역학), LCB(중 방향 부력중심), Model Tests(모형시험),

1. 서론

2006년 2/4분기 시장동향 분석을 통해 벌크선 발주가 폭발적으로 일어 날 것을 예상하고, 당사는 2007년 전략 신선형으로 Cape Size Bulk Carrier를 개발하기로 하였다. 본 연구는 목표성능을 만족하는 새로운 선형을 개발하고자 수행하게 되었으며 이를 통해 우수한 성능의 당사 고유 선

형을 성공적으로 확보하게 되었다. Cape Size Bulk Carrier의 선형개발은 초기 선형 및 각 검토 선형에 대한 수치계산 수행 후, 최적 선형에 대해 모형시험을 수행하는 방법으로 진행하였고, 본 논문에 적용된 선박은 181K DWT Bulk Carrier 선형이다. 우선 각 선형의 정성적인 특징을 분석하기 위하여 WAVIS를 통해 선수 형상에 대해서는 Wave Pattern 및 선축파 Profile을, 선미 형상에 대해서는 선미 반류 분포 및 선미 압력 분포를 검토하였다. 그리고 좀 더 신뢰성 있는 선미 반류

[†]교신저자: cindy2s@stxship.co.kr, 055-548-3206

분포를 확인하고자 Fluent 를 이용한 수치계산도 수행하였다. 선형 개발을 위해 먼저 3 가지 선수선형과 2 가지 선미선형을 검토하였으며, 가장 뛰어난 성능을 보인 선형을 최종으로 하여 모형시험을 수행하였다. 선형개선을 위한 CFD Tool 은 선박의 조파저항과 점성저항 계산 전용 프로그램인 WAVIS 와 범용 CFD 프로그램인 FLUENT 를 사용하였고 모형시험은 한국해양연구원 해양시스템안전연구소의 선형수조에서 수행하였다.

2. 선형설계 및 해석

2.1. 선형설계

2.1.1 선수 선형 (F1, F2, F3)

당사 70K, 115K Tanker 선형을 모선으로 하였다. 선형변환에는 Lackenby Method 를 이용 하였고, 모선의 요목 변화율을 반영하여 Fig. 1 의 1 차 선수 선형(F1)을 도출 하였다.

1 차 선수선형(F1)은 Moderate U-Type 의 Frame 형상을 가지며, 선수 Profile 은 Plank Type 형상의 Bulb 를 갖도록 하였다.

Fig. 1 의 2 차 선수선형 (F2) 은 조파성능 향상에 초점을 맞춰 1 차 선수선형 (F1) 에 비해 선수부 D.L.W.L.을 날씬하게 설계하였다. Frame 형상은 U-V Type 이며 Bulb 는 Low Nose Type 으로 Bulb 면적을 약 9% 증가시켰다.

Fig. 1 의 3 차 선수선형 (F3) 은 2 차 선수선형 (F2) 에 비해 D.L.W.L. 상부의 Volume 을 줄여, 생성된 Wave 가 자연스럽게 뒤쪽으로 흐를 수 있도록 설계하였다. Bulb 형상은 Plank Type 의 Profile 을 가지면서 Bulb Height 를 높여 Middle Bulb Type 으로 설계하여, 2 차 선수선형(F2)대비 Bulb 면적을 약 3% 증가시켰다. 일반적으로 저속 비대선에서 나타나는 Wave Breaking 현상을 줄이고자 Bulb 면적을 키우고 Volume 을 키우면서 D.L.W.L.의 Entrance Angle 을 더욱 날씬하게 하였다. 전체적으로 1 차에서 3 차로 갈수록 선수면형상은 날씬하게 하고 Bulb 의 조파감쇄 효과는 향상되도록 변화를 수행하였다.

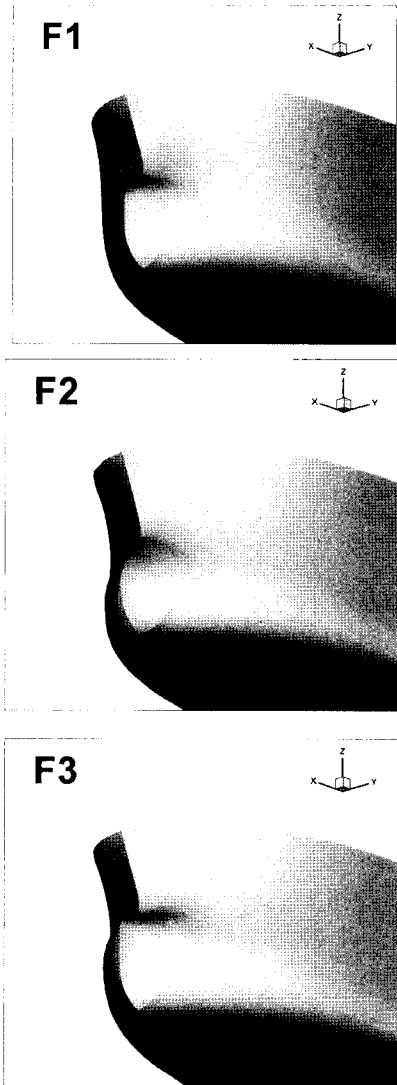


Fig. 1 Comparison of bow shape

2.1.2 선미 선형 (A1, A2)

선미 선형은 모형시험 결과에서 Wake 및 점성저항성능이 우수했던 당사 115K Aframax Tanker 를 Lackenby Method 로 선형 변환하여 Fig. 2 의 1 차 선미 선형(A1)을 도출 하였다. 이때 1 차 선미 선형(A1)의 Section 형상은 U-V type 으로 하였고, 전체적으로 기존 모선의 형상 특성은 유지하면서 Deadweight 증가에 따른 Volume 증가분이 반영되었다

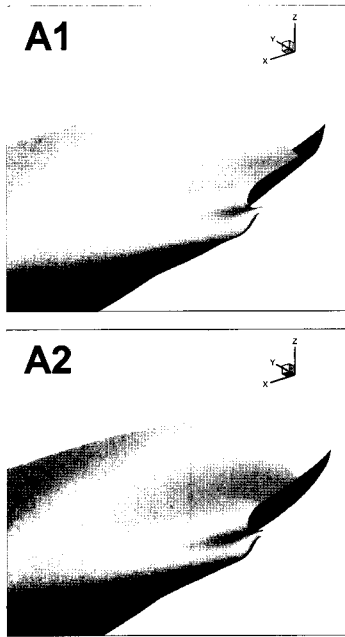


Fig. 2 Comparison of Stern shape

2 차 선미 선형(A2)은 1,2,3 차의 선수 선형(F1, F2, F3)과 1 차 선미선형(A1)으로 수행된 수치계산을 통하여 좀 더 Wake 분포를 개선시키고자 선미 형상을 Barge 형에 가깝게 하였다. 선미 Bulb 근처의 Section 에 Volume 을 주어 M/E Arrangement 에 좀 더 유리하도록 하였고, 1 차 선미 선형(A1)에 비해 프로펠러로 유입되는 유동을 개선하여 Wake 분포가 동심원 형상에 가까워지도록 유도하였다.

2.2 수치계산

2.2.1 자유수면 유동계산

선수 선형에 대한 수치계산을 위해 WAVIS 의 Potential Solver 를 이용하여 선수부 주위의 자유수면 유동해석을 수행하였다.

Fig. 3 은 선측 Wave Profile 을 비교하여 나타낸 것으로, 3 차 선수선형(F3)이 가장 좋은 선측파 Profile 을 가지는 것을 알 수 있다. Fig. 4 의 각 선형에 대한 Wave Pattern 에서도 3 차 선수선형(F3)의 결과가 상대적으로 우수한 결과를 보여주고 있다. 2 차 선수선형(F2)에 대한 수치계산 결과

를 바탕으로 개선한 3 차 선수선형(F3)은 Wave Height 가 작고 선수 어깨 이후 떨어져 나가는 파고차가 가장 작아 실선에서도 조파저항 성능이 가장 뛰어날 것으로 판단되어 최종 선수선형으로 선택하였다.

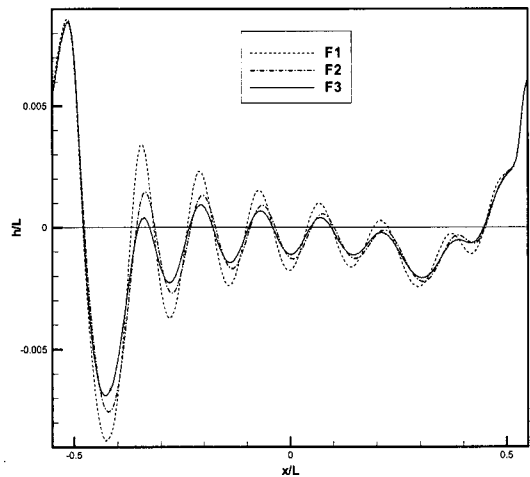


Fig. 3 Comparison of wave profile along the designed load water line ($F_n=0.15$)

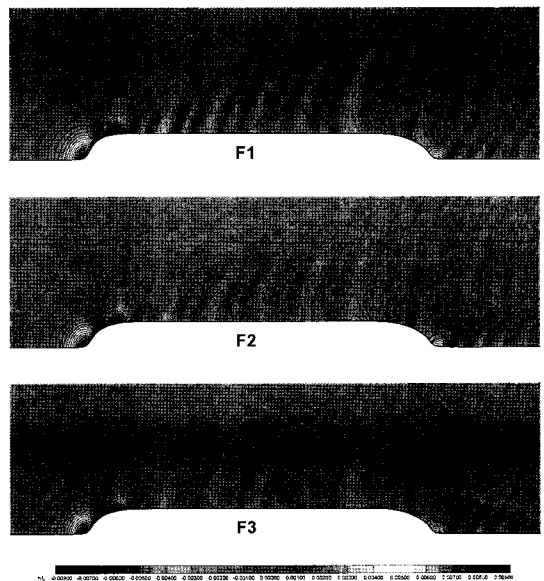


Fig. 4 Comparison of wave pattern

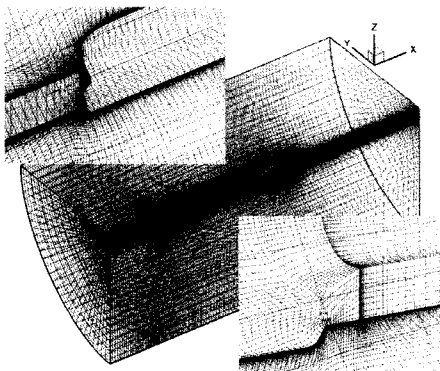


Fig. 5 Generated grid system for CFD

2.2.1 점성 유동계산

선미 선형에 관한 수치계산을 선수선형과 마찬가지로 WAVIS의 Viscous Solver를 통해 계산하였다. 수치계산에 사용된 격자계는 Fig. 5와 같이 O-H type의 격자계를 사용하였고, 난류모델은 LSWF(Lauder and Spalding's Wall Function)가 사용되었다.

Fig. 6은 각 선형의 선미 압력 분포를 비교한 것으로 선미 Bulb 근처의 Volume을 상대적으로 증가시킨 2차 선미선형(A2)의 압력 분포 변화가 1차 선미선형(A1)에 비해 유입유동 방향으로 보다 균일해진 것을 알 수 있다.

Fig. 7에서 보는 것과 같이 프로펠러 작동면에서 계산된 반류분포 결과를 보면 2차 선미선형(A2)의 반류분포가 1차 선미선형(A1)의 반류분포에 비해 상대적으로 더 우수한 특성을 나타냄을 확인할 수 있다.

이와 같은 결과는 선미부 선저에서 프로펠러 상방으로의 유동이 보다 원활하여 정체 영역이 상대적으로 감소하였기 때문으로 판단된다. Wake 성능이 상대적으로 우수한 2차 선미선형(A2)에 대해서는 Fluent를 이용하여 좀더 정교한 계산을 수행하였으며 그 결과는 Fig. 8과 같다. Fluent 해석결과 프로펠러 작동면 상의 0 deg 부근에서 $V_x/V = 0.3$ 이하 정체 영역은 나타나지 않으며 비교적 환상형에 가까운 Wake Contour 경향을 보임을 관찰하였다. 이상의 해석결과로부터 2차 선미

선형(A2)이 1차 선미 선형(A1)대비 Wake 경향측면에서 개선되었으며 M/E Arrangement에서 보다 유리하므로 최종 선미선형으로 선택하였다.



Fig. 6 Comparison of Hull Form Pressure

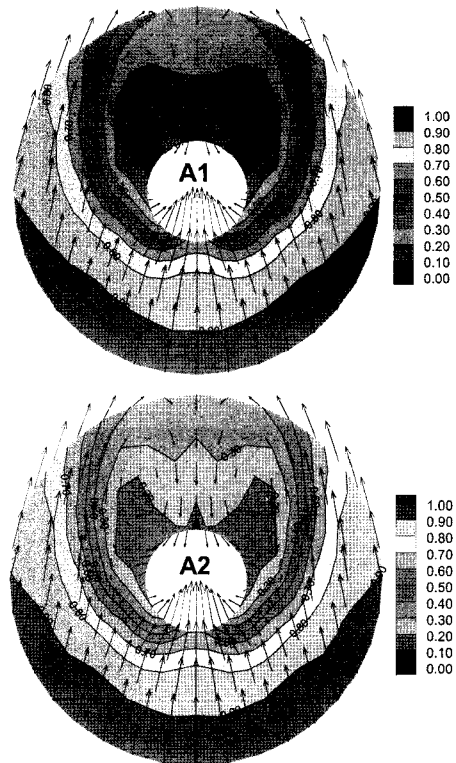


Fig. 7 Comparison of Wake Contours - WAVIS

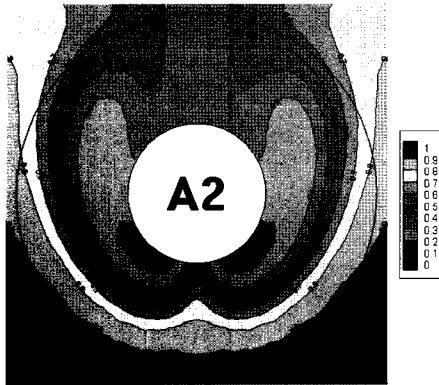


Fig. 8 Comparison of Wake Contours - FLUENT

2.3 모형시험

각각의 선수·미 선형의 수치계산 결과 3 차 선수선형과 2 차 선미선형(F3, A2)의 유체역학적 성능이 가장 뛰어난 것으로 분석 되었다. 이에 이를 조합한 선형을 최종 선형으로 선정하여 MOERI의 예인수조에서 모형시험을 수행하였다. Fig. 9는 CFD 해석 결과 선별된 선형에 대해 $F_n=0.15$ 에서 수행한 저항시험 모습으로 CFD 해석결과와 유사한 경향을 보임을 확인 할 수 있다.

선미 유동 특성을 확인하기 위해 프로펠러 작동 면에서의 반류 계측 실험을 실시하였으며 그 결과는 Fig. 10 과 같다. Fluent 를 이용한 CFD 해석결과와 비교해 프로펠러 작동면 상의 0 deg 부근에서 $V_x/V = 0.3$ 인 정체구간이 존재 하나 전체적인 경향은 환상형으로 유사하게 관찰되었다. 본 선형의 모형시험 분석 결과 계약 속도를 초과하는 속도성능을 확인하였으며, 실선에서도 충분한 속도 성능을 가질 것으로 판단된다.

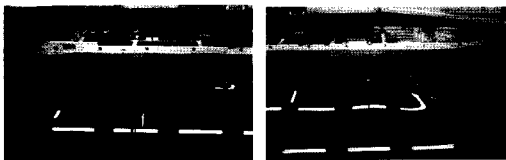


Fig. 9 Resistance Test at $F_n=0.15$ (F3A2)

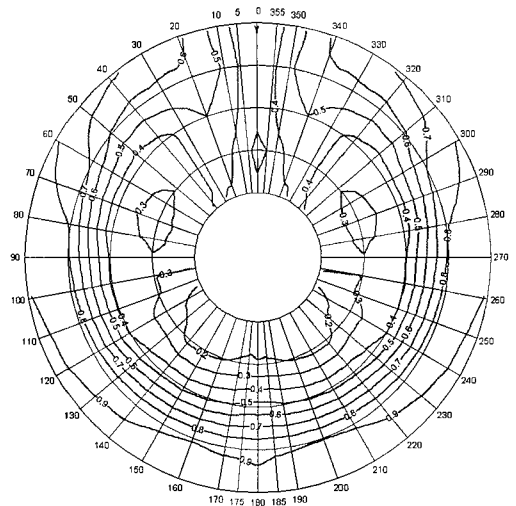


Fig. 10 Iso-axial Velocity Contours (Exp.)

3. 결론

이상의 연구결과는 저속비대선으로서 신조선장에서 발주가 활발하게 이뤄졌던 181K Cape Size Bulk Carrier 에 대한 당사의 선형 개발과정에 대한 것으로 다음과 같은 결론에 도달하였다.

1. 저속비대선인 개발선형($C_b = 0.87, F_n = 0.15$)에 대해 당사의 CFD 해석에 기반한 초기 성능 비교와 모형시험을 통한 성능검증법으로 계약 속도를 상회하는 선형 개발을 완료하였다.

2. 해당선형의 유체역학적 특성상 점성에 기인한 마찰저항이 저항성능에 미치는 영향이 가장 크나 유사선 대비 L/B 가 6.29 로 비교적 크므로 선수부 형상에 좌우되는 조파경향도 중요한 요인으로 판단되었다. 이에 CFD 해석결과에 기초해 선수부 최적화를 수행하여 선측면 Wave Profile 및 Wave Pattern 상의 파고차가 최소화 되는 선형을 도출하였으며 이를 모형시험을 통해 검증하였다.

3. 선수부 수선 부근의 Volume 감소를 위해 상대적으로 선미부 D.L.W.L 의 면적이 증가하였으나 선미부 Wake Contours 는 유입 유속의 분포가 비

교적 환상형에 가까워 지도록 Barge Type Frame 개념을 도입하였으며 0 deg 부근에서 프로펠러 성능에 나쁜 영향을 주는 $V_x/V=0.3$ 이하 유속 영역 발생이 억제되도록 하였다.

4. 초기 설계 단계에서 유체역학적 성능을 보다 정량적으로 평가하기 위해 Fluent 를 이용한 선미 유동장 해석을 수행하였다. 그 결과 모형시험과 전체 유동장의 유사성은 확인하였으나 프로펠러 반경 50% 범위 내에서 Wake Contour 상의 $V_x/V=0.3$ 이하의 유동장이 비교적 크게 추정되는 경향을 확인하였다.

참 고 문 헌

- 민계식, 이연승, 강선형, 2001, “ 선체주위의 포텐셜 유동해석에 대한 제 1 단계 연구”, 대한조선학회 추계학술대회 논문집, pp. 162-170
- 이춘주, 윤현세, 유재문, 2003, “ 선형변환 방법에 대한 소고”, 대한조선학회 논문집, 제 40 권 제 1 호, pp.63-68
- SV. AA. Harvald, “ Resistance and Propulsion of ship,” Department of Ocean Engineering, The Technical University of Denmark, Lyngby
- Tahara, Y., Stern, F., Himeno, Y., 2004, “ CFD-Based Optimization of a Surface Combatant,” J. Ship Research, Vol. 28, No.4, pp.273-287



< 김 현 정 >



< 이 무 열 >



< 이 창 훈 >



< 최 영 달 >