

LPG 선박의 선수 Bulb 형상 비교 Study

박재상*, 이종기^{†*}, 김성표*

대우조선해양(주) 선박기본성능연구소 선형연구개발팀*

A Comparison Study of the Bulbous Bow Shape for LPG Carrier

Jaesang Park*, Jongki Lee^{†*} and Sungpyo Kim*

Hydrodynamics R&D Team, Ship Basic Performance Research Institute, DSME*

Abstract

An attempt to improve the speed performance through the minimizing in wave resistance has been done by an application of gooseneck and no bulb type to bulbous bow for the DSME 78,500 Class LPG Carrier on the basis of the CFD calculation and comparatives model tests. The hydrodynamic characteristics according to the variation of the shape of Cp-curve, design load water line, frame line and bulbous bow that have an important effect on the wave resistance has been evaluated/calculated by ship-flow code. A wide variety in hull variation have been tried to have a good hull form with three types of fore-body hull forms mainly classified by the shape of bulbous bow. The speed performances for the three final hull forms with different bulbous bows have been evaluated through the model tests.

※Keywords: Very large containership(초대형 컨테이너선), Wave load analysis(파랑하중해석), Design wave(설계파), Load transfer(하중전달), Dynamic loading approach(직접하중해석), Heeling angle(경사각도), Load case(하중조건), Germanischer Lloyd classification(독일선급)

1. 서론

당사는 99년도에 78.5K급 LPG 선박을 건조하여 선주사에 성공적으로 인도한 바 있다. 기본 제원 대비 속도성능은 만족스러운 것으로 평가되었으나, 선종에 관계없이 경제선형을 확보하려는 선

주사의 요구에 적극 대처하기 위해 당사는 새로운 개념의 선수선형 개발을 착수케 되었다. 이미 당사 컨테이너선형에 적용되고 있는 goose neck bulb와 Kawasaki에서[1] 시도한바 있는 no bulb 형상이 비교 대상으로 선정되었다.

Bulbous bow를 가진 대부분의 일반 상선은 bulb에 의하여 낮은 흘수선에서 선수단이 앞쪽으로 연장되므로 선수단부가 hollow 해지고 bluntness가 크게 감소한다. 이러한 효과는 조파

† 주저자, E-mail: jklee5@dsme.co.kr

Tel: 02-2129-0452

현상을 감소시키는 결정적 역할을 하며 결국 저항을 최소화하여 ballast 흘수에서 속도향상을 가능하게 한다는 것이 오래전부터 잘 알려진 사실이다.[2]

Ballast 흘수에서의 속도향상 개념을 design 흘수에 시도할 수 있는 대안으로, LBP연장에 의한 design 흘수에서의 bluntness 감소를 통해 속도성능 개선을 기대할 수 있으며 이 개념이 바로 no bulb 선수개념이라는 것을 ballast 상태에서 수행된 모형시험 사진(Fig.19-20)을 통하여 직감할 수 있었다.

No bulb 형상의 선수개념은 LBP를 LOA 만큼 증가시킬 수 있기 때문에 같은 배수량을 기준으로 한다면 C_b 를 상당히 줄일 수 있어서 선수형상의 fineness를 증가시킬 수 있다. Design 흘수의 연장에 의한 design 흘수부근의 배수량 증가분을 낮은 흘수선 주위에서 감소할 수 있기 때문에 이 부근의 선수 단부를 더욱 hollow 하고 bluntness를 크게 감소시킬 수 있다. 따라서 no bulb 개념의 선수형상은 design 흘수에서의 속도성능 개선뿐만 아니라 ballast 흘수에서 더욱 큰 속도성능 향상효과를 기대할 수 있다.

당사는 이미 no bulb 선수개념의 장점을 C_b 가 몹시 큰 일반 벌커선에 적용하여 성공적으로 프로젝트를 종료한 경험이 있다.

당사는 수년전에 선폭과 흘수 전장(LOA)이 제한된 상황에서 보다 많은 DWT를 확보하려는 선주사의 요구에, 우선 배수량을 증가시켜 해결하려는 시도를 하였다. 이 경우에 단지 배수량만 증가시키면 선수 fullness를 증가시키는 결과를 초래하여 저항이 증가되고 속도성능을 악화시키므로, 선행 개발이 몹시 부담된다. 따라서 선수 fullness의 감소를 위해 LOA를 유지하면서 LBP를 최대한 길게 유도하여 결과적으로 C_b 를 줄일 수 있었고 따라서 선수부의 fineness 효과로 인하여 저항을 감소시킬 수 있었다.

Ballast 흘수에서의 속도향상 개념을 design 흘

수에도 시도할 수 있는 개념이 바로 no bulb 선수개념이라는 것을 표제 Study를 통하여 확인할 수 있었으며, Kawasaki 중공업에서 특허출원 중인 no bulb개념의 장점을 도입할 수 있는 하나의 시도로써, LOA를 고정시키고 LBP를 최대한 증가시키는 방법이다. 이렇게 함으로써 특허분쟁을 피할 수 있고 한편으로는 선수 fullness를 감소시킬 수 있어 조파저항을 최소화할 수 있다.

본 연구의 선행개발을 위하여 당사가 보유하고 있는 CFD code인 SHIPFLOW가 이용되었으며, 그 적용범위는 선수 형상변화에 따른 조파저항 특성 변화를 파악하는 것으로 하였고 wave profile 과 pattern 모습을 주의 깊게 비교 검토하였다.

2. 본 론

2.1. 선행 계획

표제 study선형은 $L/B=5.9$, $B/T=3.2$, $C_b=0.765$ 인 78.5K급 LPG 선형으로써, 설계속도는 17.5 knots 이다. 검토된 선수선형은 모두 세 (3)가지로써, 크게 bulbous bow 형상을 기준으로 기존 실적선 H2301호선에 적용된 high nose type(F1), 당사 컨테이너선에 적용중인 goose neck type(F2) 그리고 Kawasaki에서 특허출원한 no bulb type(F3)으로 분류하였다. Fig.1의 각각의 bulb profile형상에서 알 수 있듯이 F1형상은 ballast흘수에서의 속도성능 개선 목적으로 흘수선을 비교적 길게 취하면서 결정된 모습으로, 마치

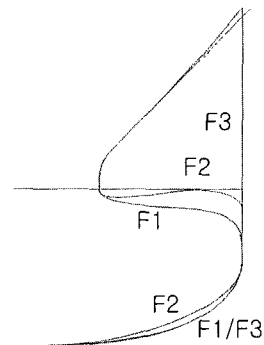


Fig. 1 Bulb profiles

plank type을 연상케 하는 넓은 profile 모습을 보여주고 있다. F2형상은 당사 실적선 LPG선형에 적용하여 성공한 type으로서 bulb nose가 수면가 사이에 근접하고 있다. F3형상의 profile 하부는 F1형상과 동일하게 유지하였다.

Fig. 2의 만재출수선 모습에서 알 수 있듯이, F1선형은 파형저항 감소목적으로 만재출수선 어깨 부위를 비교적 부드럽게 시도하였으며 F2선형은 F1과 비교하여 상대적으로 적은 entrance angle과 S자형에 가까운 수선 모습을 갖고 있다. Fig. 3의 만재출수선 모습에서 알 수 있듯이, F3선형은 shoulder part에서는 F2선형과 동일하며 entrance part는 F2선형과 유사한 자연스러운 S자 모습을 보여준다. F3선형은 만재출수선이 LOA까지 연장되었으며 기존 대상선 LPG선형의 hold arrangement를 고려하여 적어도 만재출수선 폭이 좁혀지지 않도록 변화를 시도하였다. 따라서 F.P. 부근을 기준으로 하여 shoulder part와 entrance part가 자연스러운 S자 모습을 가지도록 hollow하게 처리하였다.

2.2. 선수선형

1) F1 선형

98년도에 개발된 선형으로써, 표제 연구의 대상 선형으로 선정되었다. design 출수에서의 속도성능 최적화에 목표를 두고 개발된 선형으로서 만재출수선의 entrance 모습이 제법 날씬하게 처리되었다. 최적화된 Cp-curve모습을 유지하기 위하여 만재출수선 주위의 volume이 ballast 출수선 하부로 이동되어서 ballast 출수에서의 속도성능이상대적으로 나빠질 수도 있는 선형이다.

2) F2 선형

Fig. 1에서처럼 수선면의 유입 가속효과를 극대화하려고 bulb nose를 수선면에 밀착시켰으며 Fig. 2의 만재출수선 모습에서 알 수 있듯이 조파저항을 개선하려고 entrance angle을 F1선형에 비해 작게 시도하였다. 제법 큰 13%정도의 bulb volume을 택하여 수선면의 hollowness를 증가시킬 수 있었으며 따라서 diagonal 방향으로 유속을 빠르게 유도하여 shoulder part에서의

wavetrough를 줄이고자 시도되었다.

3) F3 선형

Vertical type 과 inclining type의 bulb profile 형상 비교계산 후 결정되었다.

최종선형의 profile 형상은 vertical type으로 결정되었으며, 수선하부의 profile형상 비교 study결과 가장 양호한 계산결과를 보여준 F1선형의 bulb profile하부 형상이 유지되었다. LBP 연장으로 인한 만재출수선의 최적화 시도는 기본적으로 조파저항을 감소시킬 수 있는 작은 entrance angle과 적절한 hollowness를 가지는 frame line을 택하려는 노력에 집중되었고, Fig. 3에서처럼 F2의 F.P. 부근을 기준으로 자연스러운 hollowness를 가지는 만재출수선을 찾을 수 있었다. 만재출수선 최적화 study 과정에서 entrance angle이 증가할수록 계산결과는 열세한 경향을 시사하였다.

2.3. CFD 계산

자유수면 유동계산

당사가 보유하고 있는 CFD code인 "SHIPFLOW"의 potential module을 이용하여 선수부 주위의 자유수면 유동해석을 수행하였고, 계산조건에 있어서 F1, F2선형 과 F3선형의 LBP를 각각 달리 적용하였으며, 세가지(3) 선형모두 동일한 Fn를 사용하였다. 계산된 F1, F2, F3 선형의 design 과 ballast 출수에서의 wave pattern을 기준선형 F1과 비교하여 Fig. 7, 8 과 Fig. 10, 11에 각각 표현하였다. wave profile은 Fig. 9, 12에 각각 비교하였다.

Fig. 7, 8의 design 출수에서 계산된 wave pattern에서 보면 알 수 있듯이 F3선형이 가장 우수한 결과를 보여주고 있다. 그렇지만 F2와 F3 선형의 계산결과 차이는 각각 F1선형과의 비교에서 보여준 차이 보다 는 작은 차이를 보여주고 있다. 즉 F2와 F3선형의 유체역학적 성능차이는 그다지 크지 않을 것으로 보여 진다.

Fig. 9의 wave profile 모습에서도 F3선형이 역시 가장 안정된 우수한 결과를 보이고 있다. Fig. 3의 만재출수선 모습에서 확인할 수 있듯이 F.P. 부근을 기준으로 shoulder part와 entrance part

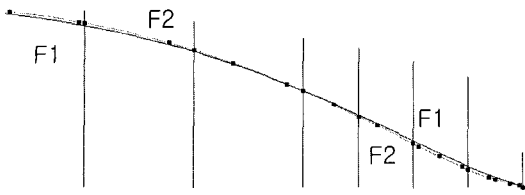


Fig. 2 D.L.W.L. for F1,F2

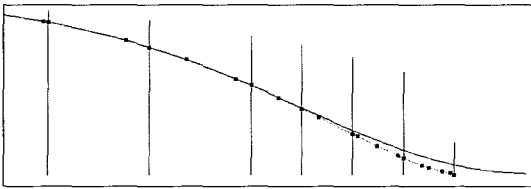


Fig. 3 D.L.W.L. for F2,F3

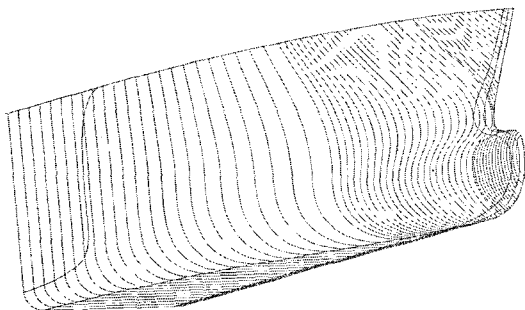


Fig. 4 F1 Hull form

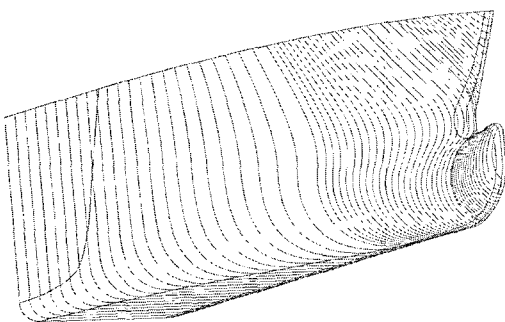


Fig. 5 F2 Hull form

가 자연스러운 S자 모습을 가지도록 hollow하게 시도한 것이 frame line과 조화를 이루어 조파현상을 감소시키는 인자로 작용한 것으로 보인다. 만재흘수선의 entrance part가 F2와 F3에 비해

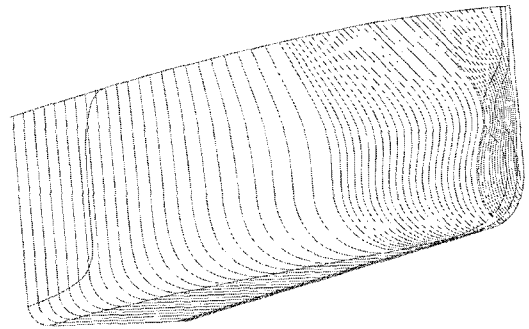


Fig. 6 F3 Hull form

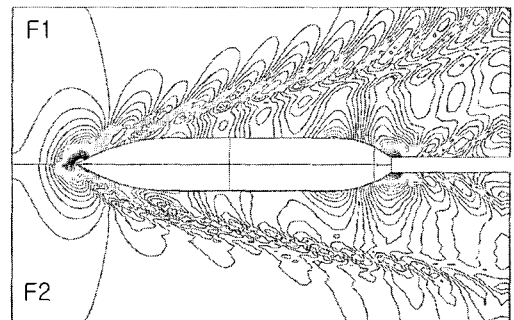


Fig. 7 Wave patterns at design draft

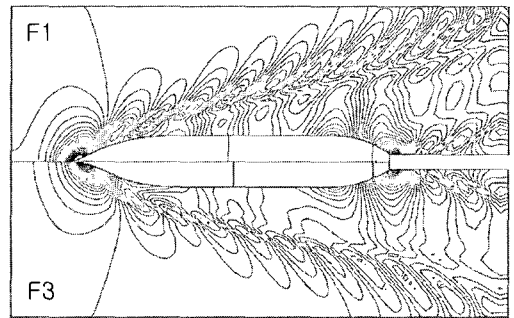


Fig. 8 Wave patterns at design draft

상대적으로 두꺼운 F1선형이 가장 열세한 모습을 보여주고 있다.

Fig. 10,11의 ballast 흘수에서 계산된 wave pattern에서는 F2선형이 가장 열세한 결과를 나타내고 있는데 Fig. 2에서 와같이 만재흘수선의 entrance part를 날씬하게 처리하기 위해 상대적

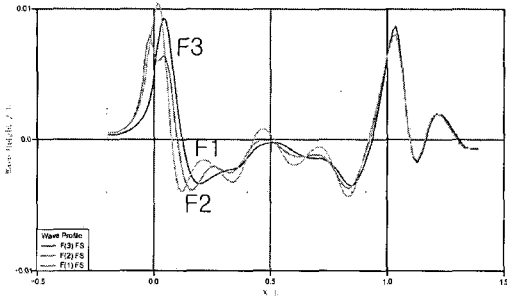


Fig. 9 Wave profiles at design draft

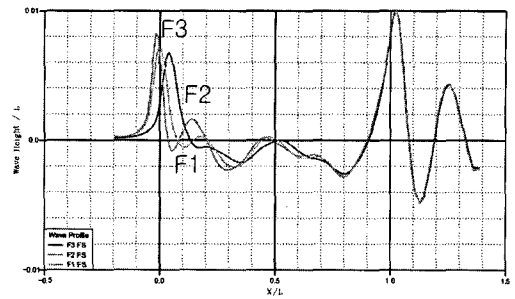


Fig. 12 Wave profiles at ballast draft

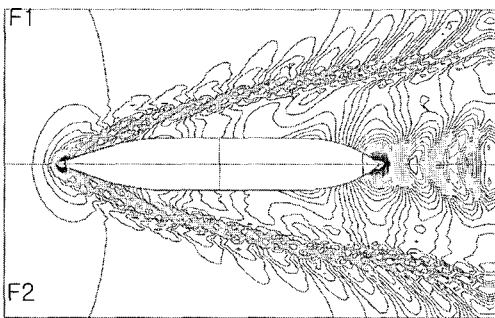


Fig. 10 Wave patterns at ballast draft

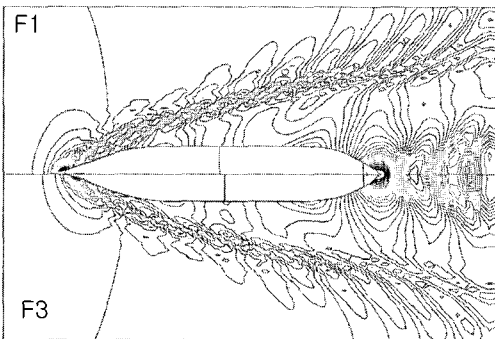


Fig. 11 Wave patterns at ballast draft

으로 많은 양의 volume을 bulb하단부에 분포시켰기 때문에 entrance angle이 지나치게 증가되고 따라서 fullness가 증가되어 조파현상이 나빠졌기 때문인 것으로 판단된다. 이러한 현상은 Fig. 12의 wave profile 모습에서도 찾을 수 있으며 F2선형의 profile모습이 가장 열세한 모습을 보여주고 있다. F3선형이 ballast 흘수에서도 wave pattern

Table 1 Test results(at design 17.5 kts)

Hull Model	F1	F2	F3
EHP (PS)	100	98.6	97.4
DHP (PS)	100	97.1	95.9

Table 2 Test results(at ballast 18.0 kts)

Hull Model	F1	F2	F3
EHP (PS)	100	105.0	96.2
DHP (PS)	100	101.6	94.6

과 profile계산결과에서 안정적인 모습을 보여주고 있다.

Design 및 ballast 흘수에서 entrance angle을 작게 유도하고 흘수선을 hollow하게 처리하려는 시도가 주요한 F3선형이 가장 안정적이고 우수한 계산결과를 보여주고 있다.

2.4. 모형시험

동등한 시험조건에서의 성능비교를 위해 F1선형의 모델과 설계 프로펠러가 보관되어 있는 SSPA에서 모형시험을 수행하였다. F2,F3의 모형이 제작되었고 design 과 ballast흘수에서 저항 및 자항시험을 수행하였다. 실험 결과를 기준선형 F1을 기준으로 백분율(%)로 Table 1,2에 기록하였으며, 각각 동일한 속도에서 촬영한 design과 ballast 흘수에서의 모형시험 사진을 Fig. 13, 14,15와 Fig. 16,17,18에 나타내었다.

Table 1,2에서 확인할 수 있듯이 F3선형이 대상선형인 F1선형에 비해 design과 ballast흘수에서 각각 약0.2노트와 0.3노트가 개선되었다. 앞서

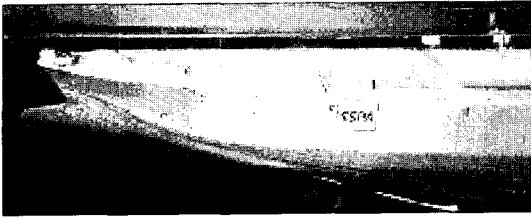


Fig.13 F1 model at design draft



Fig.14 F2 model at design draft



Fig. 15 F3 model at design draft

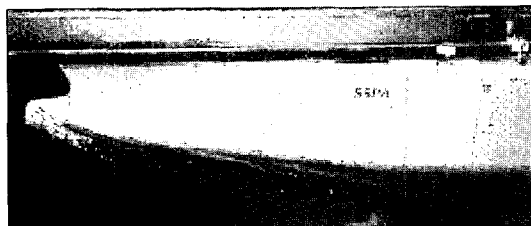


Fig. 16 F1 model at ballast draft

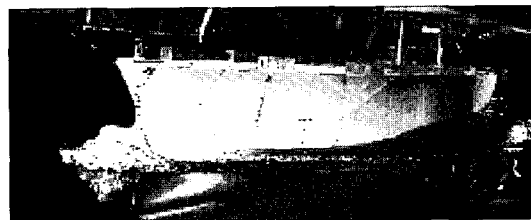


Fig. 17 F2 model at ballast draft



Fig.18 F3 model at ballast draft



Fig. 19 Conventional LPG Carrier

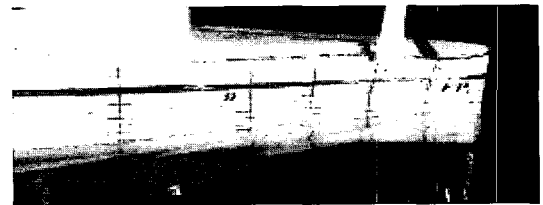


Fig. 20 No Bulb LPG Carrier

검토한 wave pattern 과 profile 모습에서 확인한 사실과 모형시험 결과는 정성적으로 잘 일치하는 결과를 보여주고 있다. F2선형에서 ballast 시험결과가 design결과보다 열세한 결과를 보여주고 있는데 Fig. 17에서 확인할 수 있듯이 wave breaking 현상이 매우 심하게 발생하였기 때문인 것으로 판단된다.

3. 결 론

1. F2선형은 대상선인 F1선형 대비 design 흘수에서는 약 0.15노트가 개선되었으나, ballast 흘수에서 오히려 약 0.1노트가 나빠졌다.

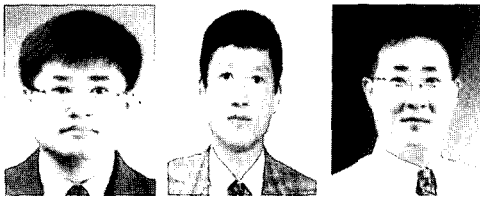
2. F3선형이 대상선인 F1선형 대비 design 과 ballast 흘수에서 각각 약 0.2노트와 0.3노트 개선되었다.

3. 선평과 흡수 전장(LOA)이 제한된 상황에서 동일한 배수량을 유지하면서 LBP를 키우면 Cb가 감소하여 선수부 fineness를 증가시킬 수 있다.

참 고 문 헌

[1]-2003년 KAWASAKI ADVANCED GAS CARRIERS

[2]-김호중, “저속 비대선의 저항 추진성능” ‘93 하계강습회, 부산대학교, 1993



< 박 재 상 > < 이 종 기 > < 김 성 표 >