

CSR적용 극비대선의 저항성능 개선에 관한 연구

박현석¹·김태훈¹·오세형¹·김병남²·김우잔³·유재훈^{3,†}·조성훈³
대한조선(주)¹
중소조선연구원²
목포대학교³

Study on the Resistance Improvement for an Extremely Full Ship Under CSR

Hyun-Suk Park¹·Tae-Hoon Kim¹·Se-Hyung Oh¹·Byoung-Nam Kim²·Wu-Joan Kim³·Jae-hoon Yoo^{3,†}·Seong-Hoon Cho³
Daehan Shipbuilding Co., Ltd.¹
Research Institute of Medium & Small Shipbuilding²
Mokpo National University³

Abstract

The appearance of CSR changes the concept of the hull form design as well as structural design, since the application of CSR inevitably brings the lightweight increase of a ship. Keeping the original design constraints such as principal particulars, deadweight, and speed performance, designers have to increase the volume of the hull form. As a result, the entrance angle at bow end should become larger, which results in blunter waterline shape. For a slow and full ship having high C_B more than 0.85, a new concept of bow shape has been required to alleviate the increase of wave-making resistance, since it is very difficult to improve waterline and frameline shape for such a full ship. In this paper a new bow shape of Capesize Bulk Carrier was developed to improve its wave-making characteristics without incomppliance with the design constraints. For loading manual calculation, NAPA software was used. FLUENT6.3.26 and WAVIS1.4 were used to evaluate resistance performance of the subject hull forms. The newly designed hull form was tested at SSPA model basin for the final confirmation of resistance and propulsion performance of the ship. It was found that the new bow shape of a Capesize Bulk Carrier improved the resistance characteristics greatly compared to a conventional bulbous bow. The other benefits of new bow shape on the manufacturability were also investigated.

Keywords : CSR(구조공통규칙), Lightweight(경하중량), Deadweight(재화중량), Full Ship(비대선), Wave-making Characteristics(조파특성), Form Resistance(형상저항), CFD(계산유체역학), Capesize Bulk Carrier (케이프사이즈 산적화물선)

1. 서론

Common Structural Rules(구조공통규칙, 이하 CSR)은 IACS(국제선급협회)에서 최근 구조적 취약 사례가 빈번하게 보고되고 있는 산적화물선 등에 대해 각국 선급들의 구조규정을 통합시키고 선박을 구조적으로 보강시키려는 목적으로 제정되어 2006년 4월 1일부터 발효되어졌다. 길이 90m이상의 화물선에 강제적으로 적용되는 CSR은 구조적 보강으로 인한 선체 경하중량의 증가가 필수적임에 따라 재화중량의 희생이 없다면 더 큰 배수량을 가지는 선형을 요구하게 된다.

최근 세계적인 원자재 물동량의 증가로 인해 활발하게 생산되어졌던 Capesize급 Bulk Carrier와 같이 만재 상태에서의 비척계수가 0.86이 넘는 극비대선의 경우에는 주요목이나 선형설계 개념의 변경 없이 CSR에 합당한 배수량을 확보하는 것 자체가 쉽지 않은 문제이다. 선형 설계자는 유체역학적인 특성을 구분하여 선형을 선수부와 선미부로 나누고 각각에 대하여 조파저

항 관점과 형상저항과 추진효율, 조종성능의 관점에서 설계를 수행하는 것이 일반적이다. 또한 설계 선형을 저속비대선, 중속선 또는 고속세장선의 범주로 구분하고 이에 따라 형상저항과 조파저항 중에 어느 저항 성분이 더 큰 비중을 차지하는가를 판단하여 주요 제원의 선정과 함께 그에 해당하는 선형부의 설계 최적화에 좀 더 치중하게 된다.

본 연구에서 다루고자 하는 Capesize급 Bulk Carrier의 경우에도 저속비대선의 범주로서 기존의 개념에 따르면 점성에 의한 형상저항 성분이 큰 비중을 차지하게 되고 이에 따라 형상저항을 줄여줄 수 있는 제원을 선정하고, 선수보다는 선미부 설계에 좀 더 치중하는 것이 일반적인 방법일 것이다. 하지만 CSR의 등장으로 인해 기존에 비해 더욱 비대해진 선형이 필요하게 되고 선형설계자는 기존의 선형설계 개념을 재검토해야만 하는 상황에 처해졌다. 특히, 3% 이상의 LCB위치(선체중량에서 LCB까지의 거리를 L_{BP} 의 비율로 표시한 값, 양의 값이 선수쪽)가 저속비대선의 형상저항을 줄여주는데 효과적이라는 개념은 현재의 개발선

인 CSR적용의 Capesize Bulk Carrier 선형에 적용시키면 선수부의 지나친 뾰족함에 의해 조파저항 성분의 크기가 지나치게 커져 계획 선속을 만족시키기에 턱없이 커진 저항을 가지게 되며, 이러한 현상이 CSR의 등장 이후 새롭게 검토되어진 중요한 개념 변경 중의 하나이다. 박현석 등 (2008)은 C_B 가 0.86이상의 극비대선의 경우에는 점성에 기인하는 형상저항뿐만 아니라 조파 특성의 개선을 위한 설계가 더 비중 있게 반영되어야 한다는 선형설계 개념의 변경을 제시한 바 있다.

본 연구는 위와 같이 Capesize Bulk Carrier 의 새로운 개념의 선수형상 개발을 목적으로 시작하였다. 치수제약조건, 재화중량, 선속성능 등의 초기 설계목표와 함께 관련 국제규범 등의 설계 조건들을 만족하기 위한 선형개발 과정에 조파 특성 개선을 위한 방법을 찾고자 하였으며, 특히 선수 형상의 큰 요소인 선수 벌브와 수선면 형상이 조파저항 관점에서 어떠한 역할을 하는 지를 원리적으로 분석하는 과정을 통해 기존의 설계 개념을 재평가해 보았다. 선형설계 과정에서 초기 개발단계에서는 CFD를 활용하여 저항성능을 평가하였고, 최종선형에 대해서는 예인수조 모형시험을 통해 확인하였다. 개발된 선형은 저항성능 개선뿐만 아니라 기존의 선형 개념과는 생산 관점에서도 비교적 많은 차이가 나타나게 되어 생산성 측면에도 큰 개선 효과가 나타남을 확인하였다.

2. 선형개발의 방향

우선 선형개발을 시작하기 위한 모선(Mother Ship)으로서 대한조선에서 건조 중인 극도로 비대한 선형에 Plank Type의 일반적인 선수벌브 형상을 갖는 Capesize Bulk Carrier를 선정하였다. 그리고 개발선은 선미형상의 변화 없이 모선의 조파특성 개선을 통해 속도성능을 향상시킬 목적으로 선수형상만을 변화 시켰다.

모선(이하 D Type)과 개발선(이하 I Type)의 주요 형상 수치 비교는 Table 1과 같다. 두 선형의 차이를 살펴보면, 모선인 D Type 형상은 Fig. 1의 우측의 일반적인 선수벌브 형상을 가진 전형적인 저속 비대선형이다.

앞서 언급한 박현석 등(2008)에서는 D Type 선형의 초기개발 과정에 대해 다루고 있는데, 기존 선형에서 적용되던 최적 LCB 위치를 근거로 LCB의 위치를 선수 방향으로 3% 이상에 두는 경우 계획선속에서 선수파가 급격히 커지고 조파저항이 증가하여 전체 저항성능이 급격히 악화되었으며, LCB 위치를 선미 방향으로 이동시키면서 형상저항의 큰 희생 없이 조파저항이 줄어드는 최적의 LCB 위치를 찾아낼 수 있었다. 하지만 D Type 선형이 계획선속을 만족시켰다 할지라도 여전히 과도한 배수량 확보를 위해 피할 수 없는 비대한 선수형상으로 인하여 조파특성이 Fig. 2의 선측파형 비교에서도 볼 수 있듯이 다른 저속 비대선들($C_B=0.81\sim 0.84$, $Fn=0.149\sim 0.157$)에 비해 개선할 점이 많은 상태였다.

본 연구에서는 아직도 개선의 여지가 있다고 판단된 D Type 선수 선형의 조파 특성을 개선시키기 위해 선형의 특성을 좀 더 검토하여 보았다. 본 Capesize Bulk Carrier 선형은 상당히 큰 비척 계수와 배 전체길이에 비해 상대적으로 짧은 선수벌브 길이, 계획 흘수에서의 과도한 수선면 입사각(약 65°)을 가지고 있으며 계획된 배수량을 확보하기 위해 피할 수 없는 선수 어깨부에서의 급격한 수선 곡률변화 등을 가지고 있는 것으로 평가된다.

Table 1 Principal particulars

	D Type	I Type
$L_{OA}(m)$	292	
$L_{BP}(m)$	283	287
Breath(m)	45	
L/B	6.2889	6.3778
B/T	2.7273	
Td / Ts(m)	16.5/18.2	
C_B at Td	0.8600	0.8472
Fn	0.1503	0.1493
Volume(m^3) at Ts	201,146	201,132

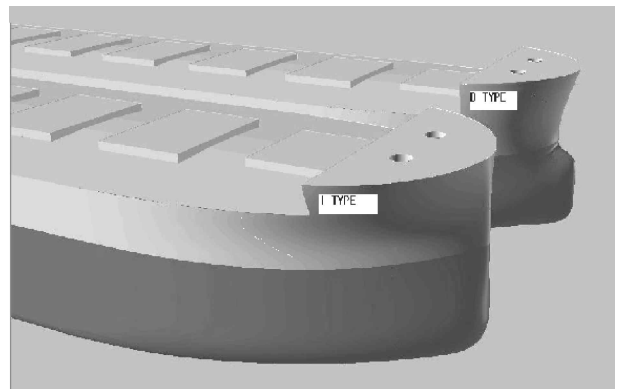


Fig. 1 Comparison of bow shapes between D Type and I Type

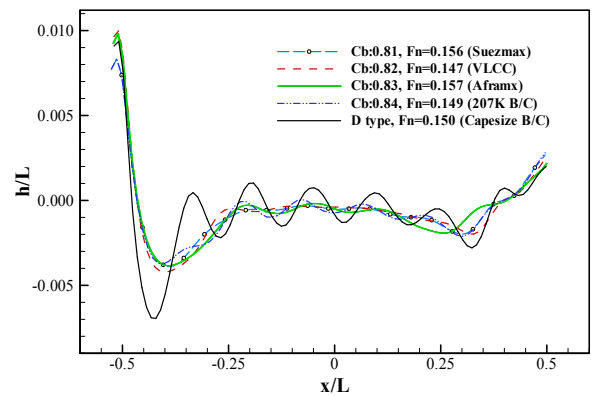


Fig. 2 Calculated wave profiles along the hull surface of various full hull forms by WAVIS1.4

이를 바탕으로 본 연구에서는 기존에 제시되었던(Kim and Kim, 1997) 저항성능 개선을 위한 선형개선 방법들 즉, 계획 흘수에서의 수선 형상을 좀 더 타원에 가깝게 만들면서 Entrance Angle을 줄이거나 C_p Curve 및 수선 형상에서 선수 어깨에서 급격한 종방향 곡률 변화를 줄이는 방법 등을 우선 활용하였으나, 앞서 언급했던 D Type 선수형상 개발과정에서 당면했던 애로사항들을 해결하기 위해서는 근본적으로 전통적인 선수벌브 형상에 대한 발상의 전환이 불가피했다. 다시 말해, 위에 기술한 선형개선 방법들을

D Type에 적용하여 저항성능 개선효과들을 얻기에는 D Type 선형의 비만도가 과도해 조파저항 측면에서 기존 선형의 선수 수선 곡률을 과감히 변형시키는 것 자체가 불가능했기 때문에, 이 문제에 대한 근본적인 해결 없이는 그 어떠한 노력도 효과적이지 못했다.

따라서, 위에 기술된 애로사항을 해결하기 위해서 선형개발 초기 단계에서 결정된 L_{BP} 제약요소의 한계를 뛰어넘는 방법을 강구하기로 하였다. 즉, 앞서 문제가 되었던 Entrance Angle과 DLWL 및 C_p Curve 어깨부의 곡률 등을 개선시킬 목적으로 L_{BP} 를 L_{OA} 에 의해 제약되는 선수방향 끝 지점까지 최대한 연장시켜 선형의 Lengthening 효과를 극대화시키기로 했다. 이렇게 함으로써 선도(Lines) 측면(Profile) 상에서 자연스럽게 전통적인 선수 형상이 마치 선수벌브가 없는 형상처럼 변했고, 이러한 변화는 설계수선면(DLWL) 및 횡단면적(C_p Curve) 형상이 각각 Fig. 3과 Fig. 4에 보인 것과 같이 저항성능 개선 측면에서 유리한 형태인 세장비(Slenderness)가 좋아진 형태와 수선면 및 횡단면 곡선의 변화율을 낮추어 주는 긍정적 결과가 얻어졌다.

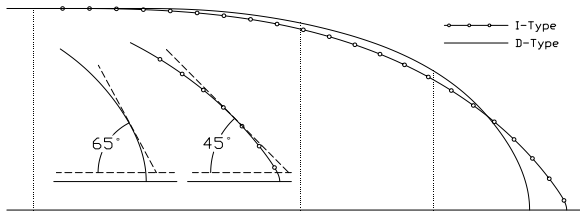


Fig. 3 Comparison of designed loaded waterlines

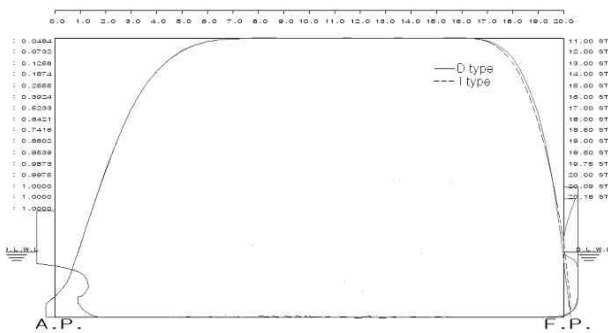


Fig. 4 Comparison of prismatic curves

이와 같은 개선은 선수벌브가 있는 형상을 선수벌브가 없는 형상으로 변화시킴으로써 얻어지는 파생효과처럼 보이지만, 저속선형의 일반적인 선수벌브 형상에서 효과적이라고 알려진 선수 벌지와류 감소효과의 장점을 그대로 유지하도록 하고, L_{OA} 제약사항을 준수하면서 조파저항을 줄일 수 있는 새로운 선수벌브 형상을 개발한 것이라 할 수 있다. 기존의 선수벌브가 없는 선형의 개발들이 대부분 저항특성을 손해 보더라도 생산성 향상을 꾀하던 시도였다는 점에서는 본 연구에서 개발된 개념이 저항저감의 목적으로 선수벌브를 제거한 개념의 창출이라는 점에서 고무적인 개념이라고 볼 수 있다. 즉, 앞서 언급한 전통적 선수벌브 형상의 형상저항 측면에서의 이점과 길이 증가로 얻어진 새로운 선수벌브 타입에서 조파저항 측면에서의 이점을 결합하여 개발선의 저항성능을 최대한 향상시키는 것을 최종 목표로 하는 선형개발 작업이라고 할 수 있겠다.

3. 선형의 저항성능 평가 및 검증

선형개발 과정에서 도출된 여러 후보 선형들의 저항성능을 상대적으로 평가하기 위해 CFD프로그램인 WAVIS1.4와 FLUENT6.3.26을 활용했으며, 최종 선형에 대해 예인수조 모형시험을 수행하여 선형 설계 작업의 정량적 타당성을 검증하였다. 짧은 계산시간이 특징인 WAVIS1.4는 선형개발 시간을 단축하기 위하여 주로 선수부의 조파특성 해석을 위해 사용되었으며, 반면에 상당한 계산시간을 요하는 FLUENT6.3.26은 주로 D Type과 I Type 선형들의 선미부의 점성 유동장을 상대 비교하여 그 변화량을 검토하는데 사용되었다. 또한 점성계산은 자유수면을 포함하는 경우와 그렇지 않는 두 가지 경우로 수행되었으며, 이는 선수형상 변화에 따른 형상저항 변화를 검토하기 위함이었다. 두 프로그램의 대표적인 계산조건은 Table 2에 정리하였다.

3.1 새로운 선수 선형(I Type)의 조파성능 해석

먼저 모선인 D Type 선형을 앞 절에서 설명한 바와 같이 L_{OA} 제약조건을 준수하면서 L_{BP} 를 최대한 증가시킨 후 설계흘수선의 Entrance Angle을 줄이며 전체적으로 좀 더 타원에 가깝게 수정하였다. 이러한 수정은 선수 어깨부의 배수량을 선수단으로 이동시켜 급격한 종방향 변화량을 줄여주는 효과도 갖게 된다.

Table 2 Calculation conditions of CFD programs for hull form evaluation

	Governing eq.	Laplace Eqn.
WAVIS 1.4	No of panels (length x breadth)	180 x 18
	Raised panel height	0.01222
	Governing equation	Incompressible RANS Eqn.
	Discretization	Cell-centered FVM
	Turbulence model	Reynolds Stress Model
	Wall function	Non-Equilibrium
	Convection term	QUICK
FLUENT 6.3.26	Diffusion	Central Difference Scheme
	Velocity-pressure coupling	SIMPLEC Algorithm
	Grid numbers	About 1,200,000 (w/ free surface) 800,000 (w/o free surface)
	Y1+	80
	Free surface capturing	VOF (w/ free surface)

이러한 선형 변환 과정에서 얻어진 여러 선형을 WAVIS1.4의 Potential Solver를 활용하여 조파성능을 집중적으로 검토하고, 가장 우수한 조파특성을 보인 선형을 선택하여 FLUENT6.3.26을 이용, 점성계산을 수행하였다. 이는 선수형상 변화에 따른 형상 저항 변화 그리고 선미 점성경계층 및 반류특성 변화에 대한 검토를 목적으로 수행되었으며, 최종에는 가장 우수한 저항성능을 보인 I Type 선형의 모형시험을 수행하여 개발선의 저항성능에 대한 정량적 검증을 마쳤다.

Fig. 5와 6은 모선인 D Type 선형과 여러 후보선형들 중에 최종 선택된 I Type 선형의 조파특성을 비교한 WAVIS1.4 포텐셜 유동해석 결과이다. Fig. 7과 8은 자유수면을 포함하고 수행한 FLUENT6.3.26의 점성유동장 해석 결과이다.

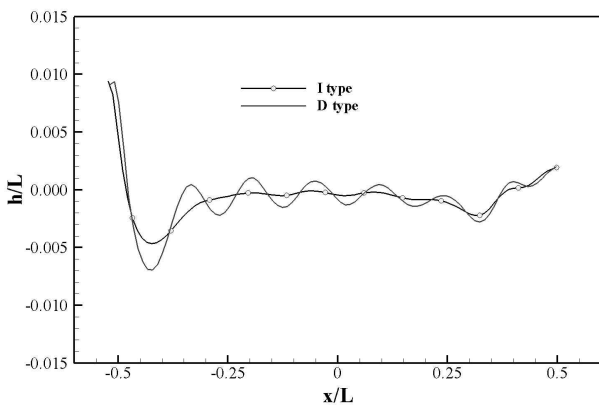


Fig. 5 Calculated wave height along the hull surface by WAVIS1.4 (potential flow)

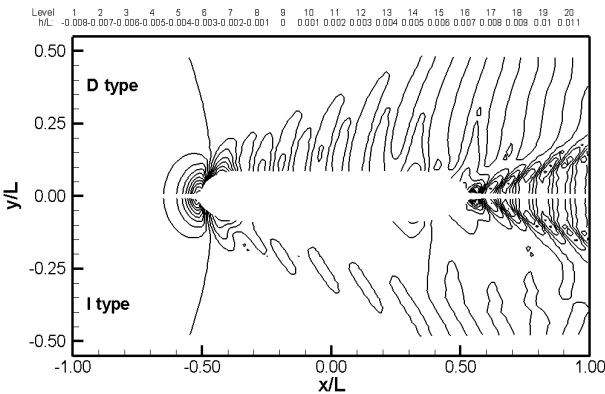


Fig. 6 Calculated wave patterns by WAVIS1.4 (potential flow)

Fig. 5~8에서 보이고 있는 바와 같이 포텐셜 유동과 점성유동장 해석결과는 정성적으로나 정량적으로 유사한 결과를 보여주고 있다. 즉, 선측파형이나 전체파형 특성에서 모두 I Type 선형이 D Type 선형에 비해 상당히 양호한 결과를 보여주고 있다. 이는 일반적인 기존의 선수벌브 형상을 탈피하여 수선 길이를 늘리고 C_B 와 Entrance Angle을 줄인 것이 조파특성을 개선시켜 나타난 결과라고 할 수 있겠다. 이러한 수치계산 결과들의 경향은 Table 3에 보이고 있는 예인수조 모형시험 결과에서도 그대로 나타났다.

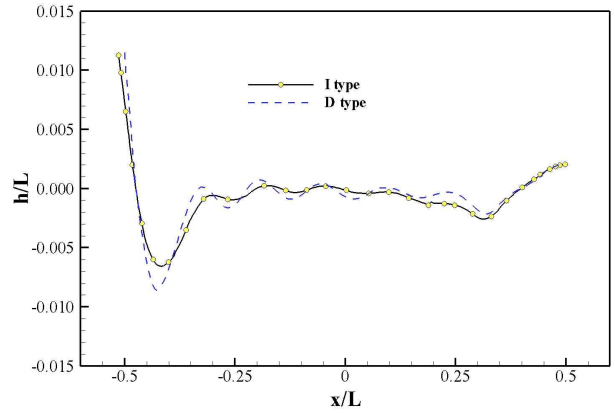


Fig. 7 Wave height along the hull surface by FLUENT6.3.26 (viscous flow)

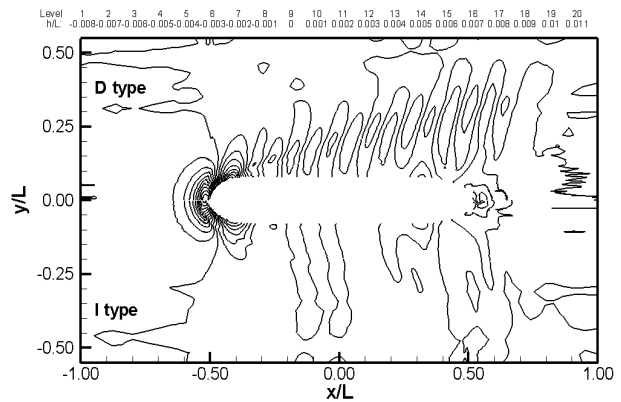


Fig. 8 Calculated wave patterns by FLUENT6.3.26

Table 3 The results of towing tank model test at the speed of $V_s=16.0$ knots

	D Type	I Type	variation
$R_{TM}(KN)$	51.3	50.08	-2.4%
C_R	0.169	0.132	-22%
k	0.248	0.235	-5.2%
$P_E(KW)$	12,418	12,069	-2.8%
η_o	0.582	0.586	+0.7%
η_R	0.993	0.998	+0.5%
η_H	1.206	1.214	+0.7%
η_D	0.697	0.710	+1.9%
J_{TS}	0.420	0.423	+0.7%
W_{TS}	0.338	0.341	+0.9%
t	0.201	0.199	-1%
$P_D(KW)$	17,817	16,999	-4.6%
RPM	89.31	89.48	+0.2%

3.2 모선(D Type)의 벌브 길이에 따른 조파성능

위에서 설명한 D Type에서 I Type으로의 선수선형 변화로부터 얻어진 조파성능의 개선이 단순한 벌브 길이의 감소에 따른 효과와 어떠한 관련이 있는지, 또한 계획흘수에서 큰 Entrance Angle 을 갖고 있는 선형에서 선수벌브 길이에 의한 파 간섭작용의 효과를 확인하고자 Fig. 9와 같이 모선인 D Type선형의 선수벌브 길이를 조금씩 줄여가며 조파저항 성능 추정을 수행하였다. Fig. 9는 D Type 선형에서 1m 간격으로 선수벌브 길이를 줄여주어 생성한 4개의 선수선형(D-1~4)의 측면 형상을 보여주고 있다.

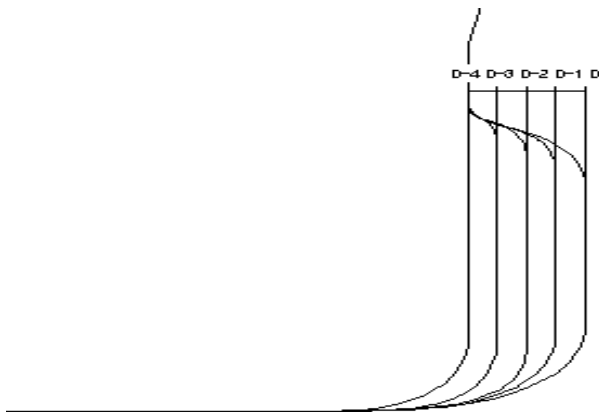


Fig. 9 Comparison of center contours for the bulb length variation of D type

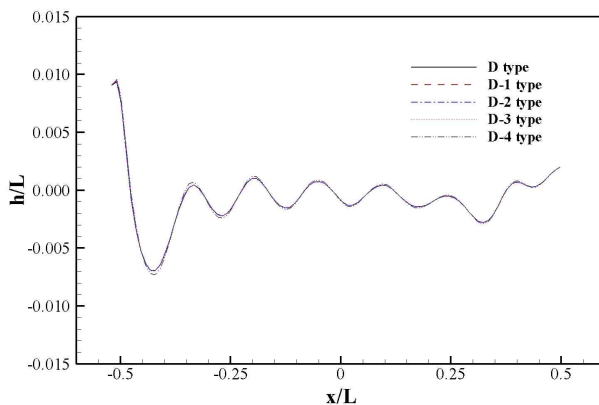


Fig. 10 Comparison of calculated wave height along the hull surface by WAVIS1.4 for the bulb length variation

수치계산의 편의성이 뛰어난 WAVIS1.4 포텐셜 유동해석을 수행하였다. Fig. 10과 11을 보면 선수벌브가 짧아질수록 조파특성이 아주 조금 나빠지는 결과를 보여주고 있으나 그 양이 매우 작아 Capesize Bulk Carrier의 일반적인 형상의 선수벌브의 길이 변화는 조파특성 개선에 큰 영향을 주지 않는다는 것을 확인할 수 있다. 즉, 앞서 설명한 I Type과 같은 선수 선형의 큰 변화에 비해 단순히 벌브 길이를 변화시켜 그에 의한 선수파 간섭효과 영향에 의한 조파특성의 변화는 본 연구에서 개발하고자 했던 Capesize Bulk Carrier에서는 크지 않았다.

Capesize Bulk Carrier같이 C_B 가 크고(0.86 이상), 선수 수선면 입사각이 큰 선형(약 65° 이상)에서는 LWL을 증가시키는 노력이 선수벌브 길이를 증가시키는 노력보다 선형의 조파특성을 결정짓는데 훨씬 더 민감하게 작용한다고 말할 수 있겠다. 다시 말해, 기존에는 Capesize Bulk Carrier선형 특성상 과도한 배수량을 확보하기 위해 L_{BP} 를 다른 저속선들에 비해 크게 결정해 왔다. 그 결과 선수벌브는 상대적으로 짧아질 수밖에 없었다. 이러한 짧고 뭉뚱한 형상의 선수벌브 형상 개선에 의한 파 간섭작용에 의지한 제한된 조파성능 개선보다는, 오히려 L_{BP} 를 L_{OA} 제약지점까지 최대한 증가시켜 만든 새로운 형상인 I Type 선형의 선수부에서의 여러가지 긍정적 변화가 조파특성 개선에 중요한 역할을 했다고 설명할 수 있겠다.

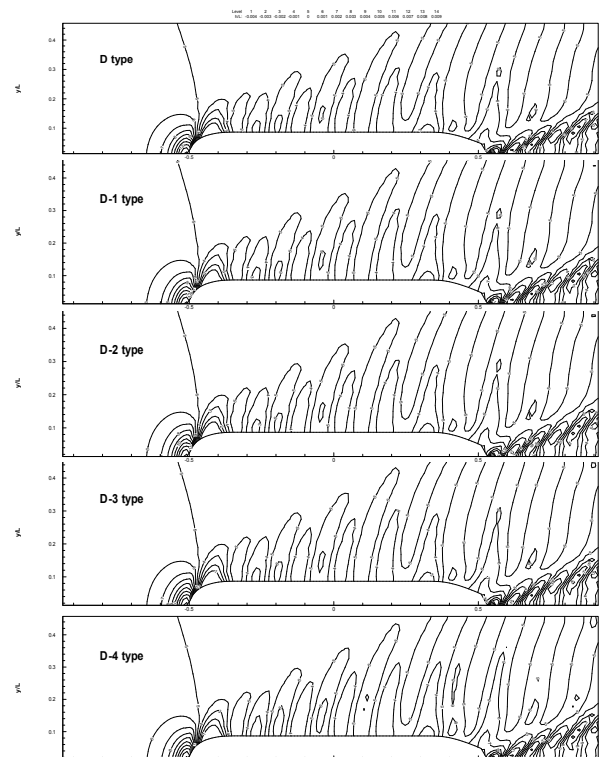


Fig. 11 Comparison of calculated wave patterns by WAVIS1.4 for bulb length variation of D type

3.3 개발선(I Type)의 선수선형 변화가 형상저항에 미치는 영향

Table 3의 모형시험 결과에서 나타난 바와 같이 수행되어진 선수형상 개선은 형상저항계수를 줄여주는 효과를 보였다. 이에 대한 좀 더 면밀한 검토를 위하여 FLUENT6.3.26을 이용하여 자유수면이 제외된 이중모형에 대한 점성유동장 해석을 수행하였다. 수치계산 결과로 얻어진 형상저항의 수치($k * C_{RM}$) 역시 I Type 선형이 D Type 선형에 비해 약 3% 감소하는 것으로 나타났다.

수치계산 결과로 얻어진 Fig. 12의 I Type과 D Type 선체표면 압력분포를 보면 선미에서의 압력분포 형태는 아주 유사하지만, 선수부에서의 차이는 두드러지게 나타나고 있음을 볼 수 있다.

특히, 17ST~19ST 부근의 압력분포를 보면 I Type선형에서 등압력 곡선의 범위가 D Type에 비해 넓게 분포되고 있는 것을 볼 수 있으며 이러한 현상이 형상저항계수의 감소 이유로 판단할 수 있겠다. 이러한 현상은 Fig. 13의 선수 벌지(Bilge) 부근을 통과하는 한계유선 상의 압력변화에서도 파악할 수 있다. Fig. 13을 살펴보면 D Type이 I Type에 비해 19.5ST 전단의 압력이 크게 나타나고 있고, 선미방향으로 가면서 급격히 음압력으로 바뀌는 경향으로서 전형적으로 형상저항이 큰 선형의 유동 특성을 보이고 있음을 확인할 수 있다.

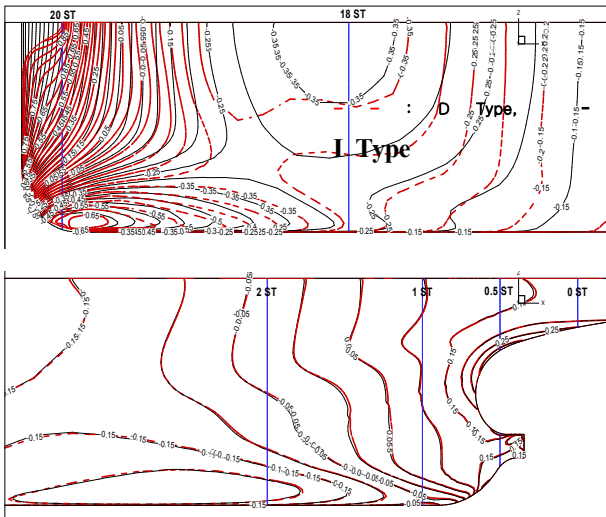


Fig. 12 Hull pressure distributions around D and I Type hull forms (viscous flow)

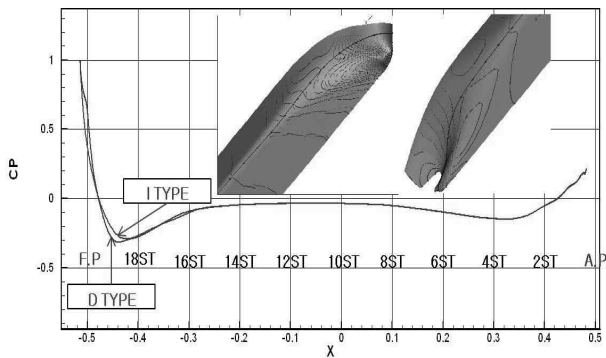


Fig. 13 Pressure coefficients along the limiting streamline

3.4 추진성능 등에 미치는 영향 검토

본 절에서는 선수형상 변화에 따른 반류분포의 변화량을 파악하여 프로펠러 재설계 여부를 검토 하였다. 수치계산 결과로 얻어진 Fig. 14와 15를 보면 I Type의 반류분포가 약간 변화하였지만 이 정도 변화는 프로펠러 성능에 큰 영향을 미치지 않을 것이라 판단되어 기존의 D Type 프로펠러를 그대로 사용하기로 결정 하였다. 모형시험에서는 저항성능뿐만 아니라 추진성능도 개선된 것으로 나타났는데 이는 저항 감소에 따른 자항점 변화에 의한 η_0 와 η_H 개선이 주요한 원인이다.

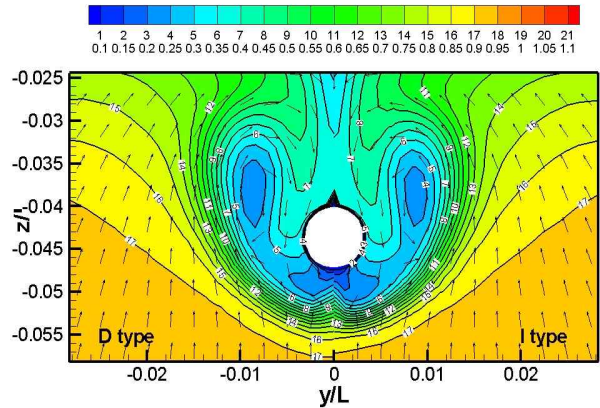


Fig. 14 Calculated wake distribution at propeller plane of D and I Type hull forms with free surface

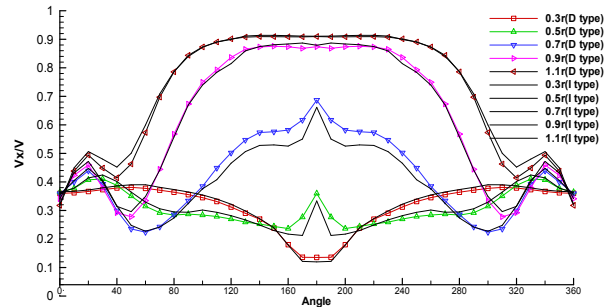


Fig. 15 Comparison of calculated axial velocity distribution at various r/R with free surface between D and I Type hull forms

일반적으로 선수벌브의 존재는 파랑 중 부가저항의 감소와 연관이 있는 것으로 알려져 있으며, 본 연구에서와 같이 선수 벌브에 대한 대폭적인 형상 변화도 파랑 중 부가저항에 대한 검토가 필요하다. 최근 송지수(2010) 등이 수행한 부가저항에 관한 연구에서는 I Type 형상과 유사한 선수벌브 형상을 가진 선형의 부가저항을 연구한 바 있는데, 일반적인 플랭크 타입의 벌브 형상보다도 오히려 파랑 중 부가저항이 감소하는 것을 밝힌 바 있다. 따라서 본 연구를 통해 개발된 I Type 선형의 경우에도 선수벌브의 크기가 줄어들었다는 이유로 파랑 중 부가저항이 증가할 것으로는 보이지는 않는다.

4. 설계 및 생산성 측면에서의 검토

기존 선수벌브 제거에 대한 대부분의 연구는 생산성 향상을 위한 시도였다는 점에서 본 연구에 서도 I Type 선수형상을 Capesize Bulk Carrier에 적용했을 때 설계 및 생산성에서 발생할 수 있는 긍정적인 변화가 어느 정도인지를 확인하여 보았다. 이 절에서는 다음과 같은 핵심적인 두 가지 사항만 간단히 요약하였다.

첫째로, 기본설계 단계에서 기대해 볼 수 있는 변화이다. 통상적으로 선수형상이 변하면 선체내부 구획배치도 변하여 Loading condition 또한 변하게 된다. 하지만 이번 연구에서는 선박의 속도 성능 개선 관점에서 선수형상에 큰 변화가 일어난 건 사실이지

만, 선체 내부 구획배치에서는 기존 총 9개의 균일한 길이의 화물창 중 선수방향 끝 단 쪽에 위치한 1번 화물창의 체적이 조금 줄고 FP 탱크의 활용공간이 늘어난 미미한 변화로 인해 Loading condition 상 큰 변화는 거의 없는 것으로 보여 졌다. 이는 NAPA 을 이용한 Loading calculation 결과로부터 확인되었다. Table 4 는 D Type 과 I Type의 Loading calculation 결과로 얻어진 변화 량을 비교한 것이다.

D Type과 I Type을 비교했을 때 비록 Loading condition 변화 에 큰 변화가 없었다 하더라도, DLWL 증가로 인해 CSR에서 요 구하는 L scantling (D Type과 I Type 모두 LWL의 97%를 사용) 이 증가한 이유로 중앙부 횡단면에서 D Type 대비 I Type에서 약 1% 가량 구조부재 치수가 커질 것으로 우려되는 선체 구조 측면 의 부정적 영향이 있었고, 한편으로는 L_{BP} 의 증가로 인해 C_B 가 작아짐에 따라서 어느 정도 그 증가량을 줄일 수 있었던 긍정적 영향이 있었다.

Table 4 Calculated bending moment with the most severe loading condition

	D Type	I Type
Max. B.M at Intact condition (T-M)	+527,037 (Normal ballast cond. Dep., UR S11)	+527,740 (Normal ballast cond. Dep., UR S11)
	-435,067 (Heavy ballast cond. Arr., UR S11)	-431,264 (Heavy ballast cond. Arr., UR S11)
Max. B.M at flooding condition (T-M)	+671,198 (Ballast cond. Dep., UR S1A, S11)	+671,901 (Ballast cond. Dep., UR S1A, S11)
	-579,274 (Homo.heavy cargo cond. Int. UR S11)	-582,171 (Homo.heavy cargo cond. Int. UR S11)

※ + : Hogging, - : Sagging

앞서 설명한 선체구조 측면의 부정적 측면과 긍정적 측면을 반영하여 구조부재 치수계산을 최종 수행한 결과, 결국 I Type에서 선각중량의 증가는 피할 수 없게 되었다. 그러나 CSR의 L scantling 규정에 따라 증가된 I Type의 구조부재 치수로 인해 늘 어나는 선각중량은, LWL 길이에 따라 민감하게 변하는 Wave bending moment 계산을 감안했을 때, I Type 선수형상 특성의 경 우 D type 선수형상에 비해 Wave bending moment 계산 값이 과도하게 커질 우려가 있기에, I Type의 경우 CSR L scantling 규정의 최소 값인 LWL의 96% 값을 선급과 협의하여 구조부재 치수 증가를 줄이거나, 선각중량 경량화 노력 등을 통하여 충분 히 조선소에서 극복해 낼 수 있는 정도로 생각되었다.

둘째로, 선각중량 경량화 및 생산성 향상 측면을 보면, D Type 선형에서 I Type로 변화하면서 선체 측면중앙선 형상이 움 폭 파였던 곳이 직선 형상으로 퍼지면서, Table 5에서 보여주듯

이 예비부력이 증가하는 결과를 얻게 되었다. 이 변화는 Fig. 16 에서 보이는 선수루(F61P/S) 높이를 낮추는 것을 가능하게 만들 었고, 그에 따라 거주구의 높이 및 연돌 높이를 요구된 항해선교 시야 범위 내에서 최대한 낮춰, I Type 선박의 경하중량을 상당량 줄이고 VCG(Vertical Center of Gravity)를 소량 낮출 수 있었다.

선수형상 변화에 따른 선수루 및 거주구의 높이 감소는, 선각 자체 중량을 줄이는 효과를 가져올 뿐만 아니라, D Type과 같은 굴곡진 표면형상을 가지는 선수블럭을 I Type 형상처럼 단조로운 곡률변화를 갖는 블럭으로 바꿀 수 있게 되었고, 블럭 분할을 간 소화하여 선수블럭 외판 및 내부 구조부재들의 곡가공 공수를 감 소시키고, 선수 블럭 탑재 및 조립 정도문제 등을 개선시킬 수 있 는 효과도 기대할 수 있다. 또한, Fig. 16 에서 F41P/S, F51P/S, F61P/S 블럭을 연장시켜 F32C 블럭 자체를 생략하는 것을 기대 할 수 있게 되었고, 나아가 전체 선박건조 공정단축에 큰 기여를 할 것으로 판단되었다.

Table 5 Comparison table of the freeboard calculations between D and I Type hulls

	D Type	I Type
Lf(m)	283.24	287.03
Vol. at 85% of depth mld.(m ³)	235,783.3	235,627.2
Center profile area abv scantling draft(m ²)	2,036	2,068
Freeboard margin(mm)	30.6	81.6
Reserve buoyancy margin(m ²)	2.835	3.062
Minimum bow height margin(mm)	1140.9	1067.5

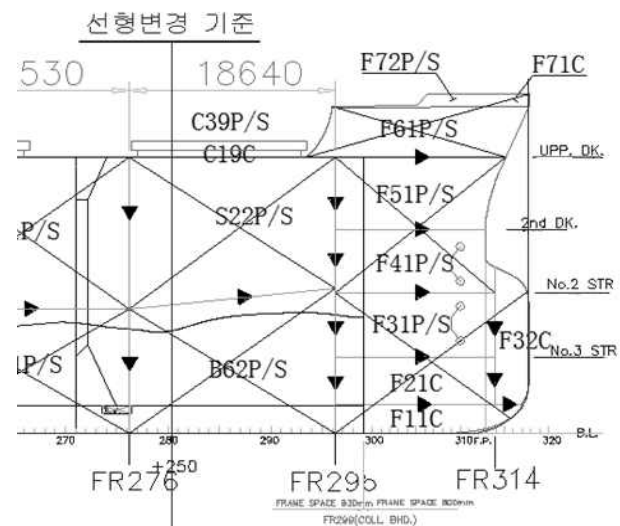


Fig. 16 Comparison of the block division between D Type and I Type hull forms

5. 결 언

본 연구에서는 해운시장에서 꾸준한 수요를 유지하고 있는 비대한 저속선형 중의 하나인 Capesize Bulk Carrier($C_B \approx 0.86$, $F_n = 0.150$) 선형의 속도성능 개선을 위한 새로운 형태의 선수선형 개발 결과를 기술하였다.

일반적인 신적화물선의 선수벌브 형상을 바탕으로 한 조파특성 개선의 한계를 지적하였으며, 오히려 L_{BP} 를 L_{OA} 제약조건을 초과하지 않는 범위 내에서 최대한 증가시켜 DLWL의 Lengthening을 통한 Slenderness 효과를 향상 시키는 관점에서 선형개발을 수행하는 것이 전체적인 저항 및 추진성능 측면에서 더 효과적이라는 것을 CFD해석과 모형시험을 통해 확인하였다.

개발된 새로운 선수선형인 I Type에서는 DLWL 증가시켜 기존의 모선인 D Type대비 상대적으로 선수부 비만도를 줄였으며, 거의 모든 Loading condition에서의 선수부 DLWL 형상을 조파특성이 유리한 타원 형상에 좀 더 가깝게 만들었다. 그리고 D Type선형에서 심각하게 문제가 되었던 설계흡수면 입사각(65°)을 I Type에서는 45° 로 감소시킬 수 있는 여지를 마련한 것이 속도성능 개선에 큰 역할을 했다고 말할 수 있다.

본 연구에서는 선수선형의 변화가 설계 및 생산성에 미치는 영향에 대해서도 언급하였다. 속도성능 개선을 위해 변화시킨 선수형상(하기만재 흡수선에서 LWL 증가)으로 피할 수 없었던 Midship section에서의 구조부재 치수 증가에 대해 대응사안과 I Type선형의 생산성 향상 방안에 대해서도 검토하였다.

후 기

본 연구는 대한조선과 목포대학교가 공동으로 수행한 교육과학기술부 지원 지역혁신인력양성사업과 지식경제부 지원 대불산단 맞춤형 특성화 사업에서 개발된 기술을 활용하였음을 밝힙니다.

참 고 문 헌

- Park, H.S. Kim, B.N. & Kim, W.J., 2008. Hull Form Development of a Bulk Carrier using CFD. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 45(5), pp.502-512.
- Kim, K.J. & Kim, H.C., 1997. Application of CFD in Ship Design, *The international CFD conference*.
- Song, J.S. Bae, J.H. Kim, M.H. & Ahn, S.M., 2010. Numerical Study on Added Resistance of a Low Speed Full Ship. *Proceedings of SNAK 2010 Spring Meeting*, Jeju, Republic of Korea, pp.1092-1097. June 2010.

