

거위목 벌브 형상을 적용한 중형 여객선의 부가저항 및 내항성능

유진원¹ · 이영길^{2,†} · 하윤진³

부산대학교 조선해양플랜트글로벌핵심연구센터¹

인하대학교 조선해양공학전공²

한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소³

Added Resistance and Seakeeping Ability of a Medium-sized Passenger Ship with Gooseneck Bulb

Jin-Won Yu¹ · Young-Gill Lee^{2,†} · Youn-Jin Ha¹

Global Core Research Center for Ships and Offshore Plants, Pusan National University¹

Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering, Inha University²

Korean Research Institute of Ship and Ocean Engineering, KRISO³

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.

This research is focusing on the added resistance and seakeeping ability of the designed passenger ship with gooseneck bulb(Designed hull) which provide the improvement of resistance performance under calm water condition. By comparing the added resistances and seakeeping abilities of the reference hull and the designed hull form with gooseneck bulb, it is confirmed that there is little difference in the operational comfort and the reduction of ship speed. As a result, the applied gooseneck bulb in this study is verified for the applicability to medium-sized passenger ships with a good resistance performance.

Keywords : Passenger ship(여객선), Gooseneck bulb(거위목 벌브), Added resistance(부가저항), Seakeeping ability(내항성능), Regular wave(규칙파)

1. 서론

유가의 상승에 의한 연료비 증가는 중소 여객선사의 재무 상황을 악화시키는 원인 중의 하나로, 이를 개선하기 위하여 저항성능에 우수한 경제적인 선형의 확보가 필요하다. 여객선의 경우 일반적으로 어느 정도 높은 운항속도를 가지기 때문에 저항성능 개선을 위한 선형설계에 있어 조파저항감소를 위한 선수선형설계가 필요하다. 선수형상의 중요한 설계개념 중 하나인 선수 벌브의 경우, 선수 벌브와 선수 어깨에서 발생하는 파도들의 상쇄에 의한 조파저항감소를 얻을 수 있다. 유럽을 중심으로 여객선에 대하여 진행된 연구 결과들을 보면, 여객선에 거위목 벌브(gooseneck bulb)를 적용함으로써 저항성능 개선을 통한 연료비의 감소가 가능함을 보여 주었다(Heimann & Harries 2003; Maisonneuve, et al., 2003; Valdenazzi, et al., 2003; Heimann 2005; James, 2006; Dominic, 2007). 거위목 벌브의 개념은 조파저항감소를 위하여 일반 벌브들과는 다르게 수선면 위로 벌브의 체적 중심을 올리고, 벌

브 체적 중심 뒤에서는 벌브의 폭이나 높이를 일반 벌브들에 비하여 작게 하여 좀 더 유리한 파도상쇄효과를 얻기 위함이다. 따라서 이러한 거위목 벌브를 여객선에 적용하기 위한 연구들이 진행되었다. Yu, et al. (2010)의 연구에서는 유럽에서 연구되어진 여객선 선형(Heimann, 2005)를 대상으로 거위목 벌브의 최대 폭을 변화시켜가며 자유수면 변화와 압력저항 변화를 확인하였다. 그 결과 벌브 폭이 감소할수록 발산파는 증가하였지만 비선형파가 감소하여, 압력저항이 감소됨을 확인하였다. Yu, et al. (2014)의 연구에서는 거위목 벌브의 최대 폭, 횡단면 형상 그리고 높이방향 중심위치와 길이들을 변화시켜가며 연구를 수행하여, 거위목 벌브 설계에 활용 가능한 벌브 선형요소들의 상관관계를 파악하고자 하였다.

이러한 기존 국내외 연구들은 정수 중에서 평가된 저항성능에 대한 연구결과들이다. 하지만 실제로 선박의 운항 시 파랑에 의한 부가저항이 발생되는데, 부가저항은 선박에 따라 정수 중의 저항보다 15~30%가량 증가할 수 있다(Seo, et al., 2013). 따라서 정수 중에서의 저항성능 뿐 아니라 파랑 중에서의 부가저항성능을 파악하는 것 또한 필요하다.

여객선의 경우 일반 상선들과는 다르게 승선원과 승객들의 승선감이 매우 중요하다. 선박이 상하동요(heave), 종동요(pitch)와 같은 내항성능에 불리할 경우 승선원들에게 피로감과 더불어 여객 수송에 치명적인 악영향을 미치며, 적재된 화물들과 재설비 등에 의한 선박의 구조적인 안전성에 문제가 발생할 수 있다. 특히, 여객선의 해양사고 발생을 미연에 방지하기 위하여 여객선안전관리지침(해양경찰청 고시 제 1999-53호)에서는 여객선의 출항 통제 기준을 설정하여 운영하고 있으며, 이 기준이 만족되지 않을 경우 연안 및 국제항해를 운항하는 여객선의 출항이 어렵다. 따라서 여객선의 저항성능을 향상시키기 위하여 거위목 벌브를 적용한 선수선형설계가 내항성능에 어떠한 영향을 미치는가에 대한 평가 또한 여객선의 거위목 벌브 설계 시 중요 고려 사항 중의 하나로 사료된다.

따라서 본 연구에서는 거위목 벌브의 저항감소효과와 부가저항 및 내항성능의 변화를 파악하기 위하여 일반 벌브와 거위목 벌브가 적용된 여객선의 정수 중 저항성능을 평가하고, 상대적으로 크기가 큰 거위목 벌브가 적용된 여객선의 부가저항 및 내항성능의 변화에 대하여 파악하여 보았다.

2. 대상선형 및 저항성능 평가기법

2.1 대상선형

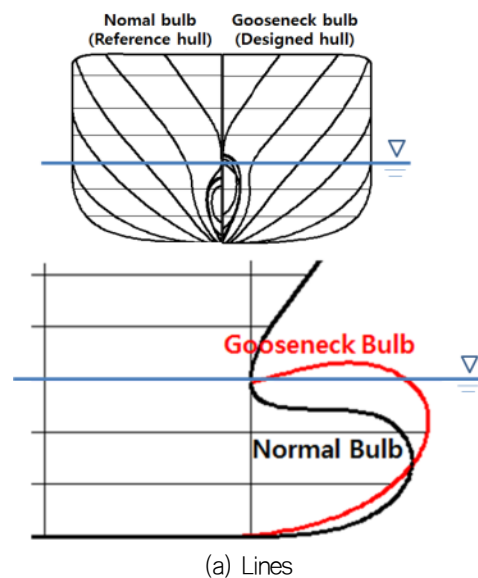
본 연구에서는 단거리 국제항로를 이용하여 운송서비스를 제공하는 국내 여객선사의 여객선 중의 한척을 기준선형(reference hull)으로 선정하였다 (Yu, et al., 2014). 그리고 Yu, et al. (2014)에서 정수 중 저항성능이 우수한 거위목 벌브 형상을 설계하였으며, 이를 설계선형(designed hull)으로 결정하였다. Yu, et al. (2014)에서 이들 선형들을 각각 KF(Original)과 KF(GB-B12M)으로 명칭하였다. Yu, et al. (2014)에서의 거위목 벌브가 적용된 설계선형의 경우 선수부의 벌브 형상이 바깥으로 인하여 자유수면과 자유수면 아래의 유동이 매우 다를 수 있다. 하지만 Yu, et al. (2014)에서는 평항수 상태에서의 정수 중 저항성능을 평가하였기 때문에 실제 항주상태에서의 항주자세를 고려하지 않았다. 본 연구에서는 실제 항주자세를 고려하여 정수 중의 저항성능을 평가하였으며, 파랑 중에서의 부가저항 그리고 내항성능을 평가하였다.

주선체의 주요요목, 일반 벌브와 거위목 벌브의 벌브 요소들은 Table 1과 같으며, 기준선형과 거위목 벌브가 적용된 설계선형의 개략적인 형상은 Fig. 1과 같다. Fig. 1(a)에서 보이는 바와 같이 설계선형은 벌브가 자유수면 위로 돌출되어 있는 형상을 가진다. 그리고 Fig. 1(b), (c)은 축척비 1/75의 크기로 제작된 모형선으로, 인하대학교 선형시험수조에서 모형시험이 수행되었다.

Table 1 Principal particulars of the reference hull and designed hull

L_{BP} (m)	156.00
B (m)	22.00
T (m)	6.00
∇ (m^3)	10519.74
WSA (m^2)	3600.10
C_B	0.512
Operated speed	18 Knots ($F_n=0.235$)

	Normal bulb (Reference hull)	Gooseneck bulb (Designed hull)
L_B (m)	6.29	6.71
B_B (m)	3.18	2.65
Z_B (m)	2.87	4.43
∇_B (m^3)	54.114	60.765



(b) Reference hull



(c) Designed hull

Fig. 1 Side views of the reference hull and designed hull

2.2 항주자세를 고려한 정수 중 저항성능 평가

수치시뮬레이션은 Modified Marker-Density Method를 이용하여 작성된 전산프로그램(INHAWAVE-II)이 사용되었으며, 계산 기법에 대한 내용은 Jeong, et al. (2010)에 기술되어있다. INHAWAVE-II는 직교격자계로 작성되어 물체 주위 난류유동에 대한 시뮬레이션 결과의 정도가 낮아, 선미 주위 유동과 미찰저항 추정에 대하여는 다소 부족한 부분들이 있지만 주로 자유수면 변화의 수치시뮬레이션에 초점을 맞추고 있어 선박의 조파저항이나 선수부 선형설계에는 적합하다. 수치계산의 경우 모형시험과의 검증이 필요하기 때문에 모형시험과 같은 상태인 트림과 침하가 자유로운 상태에서의 수치계산을 수행하였다.

Fig. 2는 운항속력에서 모형시험결과의 모형선 트림, 침하와 수치계산결과에서의 트림과 침하를 비교한 결과이다. 수치계산결과와 기준선형과 설계선형 모두 모형시험결과와 최대 약 2%정도의 차이로 근접한 것을 확인할 수 있다.

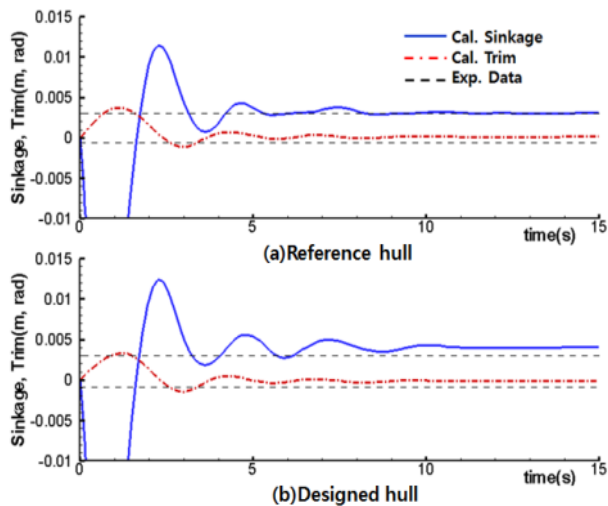
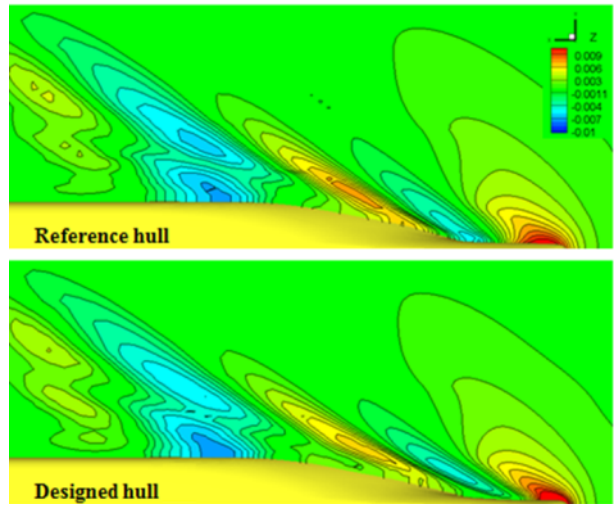
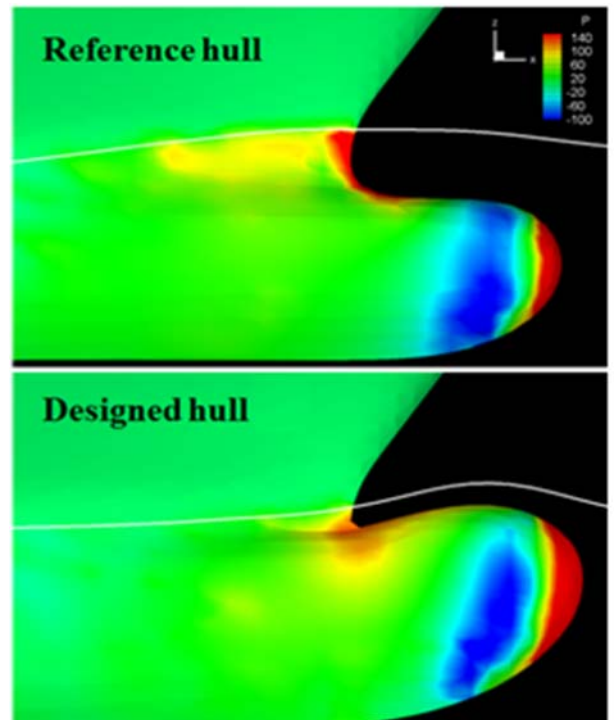


Fig. 2 Comparison of the running attitude in still water between the experimental and computational data

Fig. 3은 수치계산결과 중 기준선형과 설계선형의 선체 주위 자유수면 유동, 선체 표면 압력분포와 선측파형을 비교한 그림이다. 파형분포를 보면, 기준선의 선수부 어깨부근에서 급격하게 발생하는 발산파(divergent wave)가 거위목 벌브에 의해 감소하는 경향을 확인할 수 있다. 그리고 선체 표면 압력분포와 선측파형을 보면, 설계선형의 경우 거위목 벌브에 의하여 파형의 위상을 변화시켜, 기준선형의 FP부근 주 선체에 걸리는 양압력의 분포가 설계선형의 경우 크게 감소하였다. 그리고 거위목 벌브로 인하여 벌브 부근에서 파도를 생성하는데 에너지 손실이 크지만, 선수부(FP부근)에서는 압력저항이 감소되어 거위목 벌브 선형의 저항성능이 개선된 것으로 보이며, 이로 인하여 형상저항이 감소되었을 것으로 생각된다.



(a) Wave height contours



(b) Pressure distributions

Fig. 3 Wave height contours and the pressure distributions of the reference hull and designed hull

Fig. 4는 모형시험 결과로부터 운항속력에서 저항성분을 분리한 결과와 수치계산에서의 압력저항을 비교한 그림이다. Fig. 4(a)를 보면, 기준선형의 경우 모형선의 전저항에서 잉여저항이 차지하는 비율이 약 38%정도, 형상저항은 약 62%정도가 된다. 거위목 벌브 적용을 통하여 기준선형에 비하여 형상저항을 약 15%, 조파저항을 약 44%정도를 감소시켰다. 이와 같은 조파저항의 감소는 Fig. 4(b)의 파형계측결과에서도 잘 나타나 있다. 파형계측 위치는 선체 중심에서 선폭만큼 떨어진 지점(Y/LBP=0.141)으로, 거위목 벌브 적용 선형의 파형은 기준선형과 비교하여 좀 더 완

만해지고 최대 파고도 낮아서 조파저항의 감소가 예상된다. 실제로 거위목 벌브를 적용함으로 조파저항뿐 아니라 형상저항까지 감소됨을 확인할 수 있다. 그리고 모형시험과 수치계산 결과를 비교하면, 서로 근접한 결과를 보이고 있어 수치계산 기법의 정도도 확인할 수 있다. 수치시뮬레이션의 결과로부터 운항속력에서 대상선형이 받는 전체 저항 중에서 압력저항의 비율이 약 20%정도 차지하며, 거위목 벌브를 적용하여 압력저항을 약 15% 정도가 감소된 것을 확인할 수 있었다.

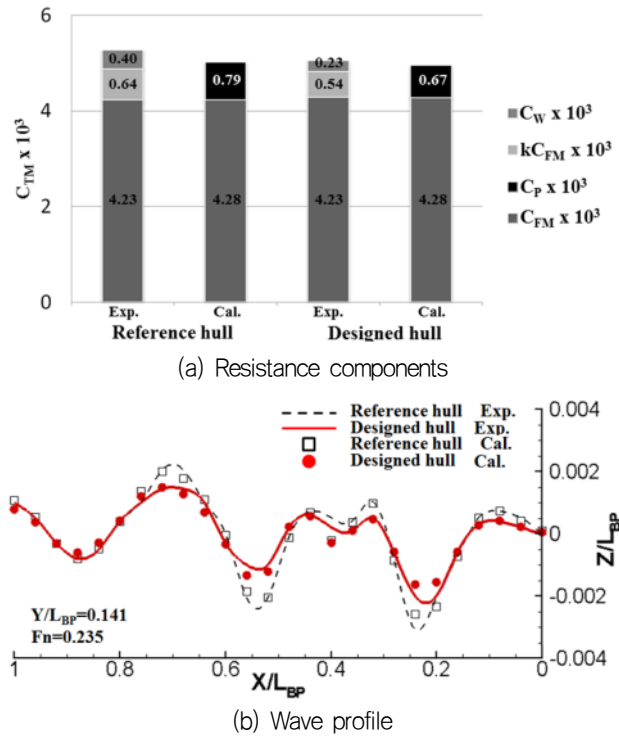


Fig. 4 Comparison of resistance components and wave profile between the reference and designed hull

Fig. 5는 다양한 속력에서의 모형시험결과와 운항속력에서의 수치계산결과들을 이용하여 실선의 유효동력을 추정한 결과이다. 최대 약 6%정도의 차이로 수치계산결과가 모형시험결과에 근접한 것을 확인할 수 있으며, 거위목 벌브 적용으로 인한 조파저항과 형상저항의 감소로 유효마력이 약 14%정도가 감소된 것을 확인할 수 있다.

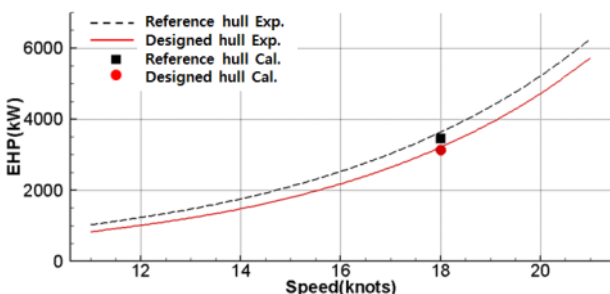


Fig. 5 Comparisons of the effective power

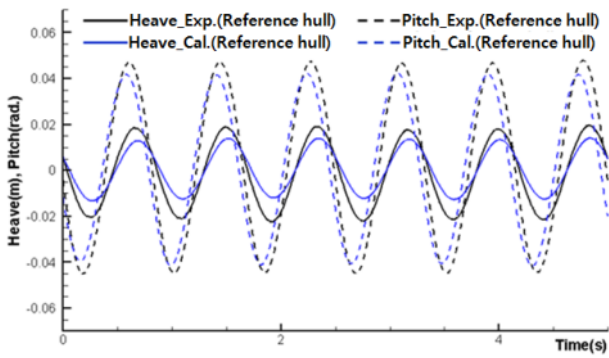
3. 부가저항 해석 결과

거위목 벌브는 체적 중심이 수선면 위로 돌출이되면서, 파형의 위상을 변화시킨다. 따라서 벌브부근에서 발생하는 파도로 인하여 부가저항이 증가될 가능성이 있다. 부가저항성능을 파악하기 위하여 기준선형의 항로인 덕적도 해상 해양계측자료를 참고하였다. 덕적도 해상에서의 최대주기는 파장(λ)과 기준선형의 길이(L) 비로 나타내었을 때, $\lambda/L=0.828$ 로 공진주기 근처이며, 평균파고는 0.600 m(model scale=0.008 m)이다. 본 연구에서는 보유하고 있는 모형시험시스템의 성능을 고려하여 3 m(model scale=0.040 m)의 파고조건에서 모형시험을 수행하였다. 이는 여객선의 내항성을 파악하기 위한 파고와 동일하다. 0.040 m의 모형 파고조건에서 수치계산 수행하여 모형시험 결과와 비교한 후, 대상선형의 실제 운항조건을 반영한 0.008 m의 모형 파고조건에 대한 수치계산을 수행하여 부가저항성능을 파악하였다. 파장의 경우 ITTC - Recommended Procedures and Guidelines, 7.5-02, 07-02.1을 참고하여 $\lambda=0.5 L \sim 2.0 L$ 사이에서 모형시험과 수치계산을 수행하였다. Table 2는 모형시험과 수치계산 시 입사파의 조건을 나타낸다.

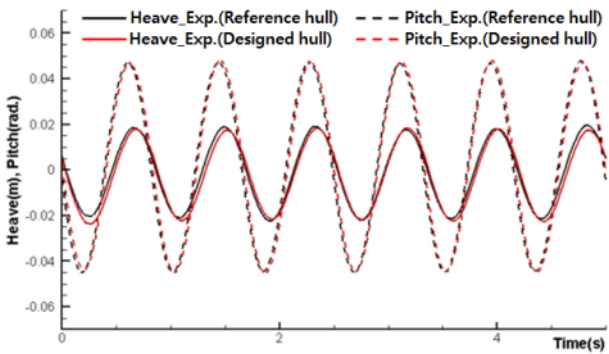
Table 2 Incident wave conditions for the added resistance computations and experiments (model scale=1/75)

Wave length(m)	Wave height(m) (Model test)	Wave height(m) (Numerical computation)
0.500 L	1.057	0.040 0.008
0.828 L	1.751	
1.000 L	2.113	
1.200 L	2.537	
1.614 L	3.411	
2.000 L	4.227	

Fig. 6은 0.040 m의 모형 파고조건과 선체 운동의 크기가 가장 클 것으로 예상되는 파장($\lambda=1.2 L$)에서의 선체운동의 시간기록을 나타낸다. Fig. 6(a)에서와 같이 동일 조건에서 기준선형의 상하동요와 종동요 크기 및 위상의 변화에 대한 수치계산 결과들이 모형시험의 결과에 근접하는 것을 확인할 수 있다(최대 약 10%의 오차). Fig. 6(b)는 기준선형과 설계선형의 모형시험결과로, 기준선형과 설계선형의 상하동요와 종동요 크기와 위상의 변화가 근접한 것으로 나타나고 있어, 기준선형의 벌브에 비하여 상대적으로 커진 거위목 벌브를 적용하여도 선체 운동변화에는 큰 영향이 없는 것을 확인할 수 있다. 또한 Fig. 7에서와 보이는 바와 같이, 파장에 따른 기준선형과 설계선형의 운동응답특성 역시 차이가 크지 않은 것을 확인할 수 있다. Fig. 8은 $\lambda=1.2 L$ 파장에서 상하동요가 최대일 때, 기준선형과 설계선형의 선체 표면 압력분포와 파형의 형태를 나타낸 그림이다.

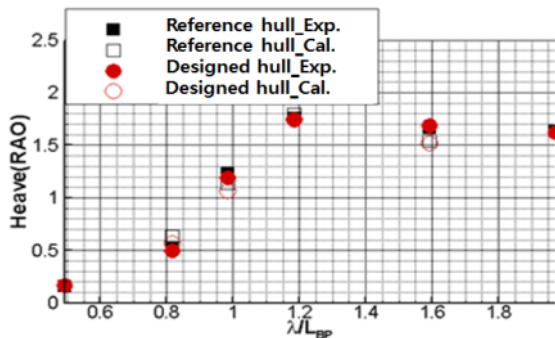


(a) Model test results and the numerical calculation results of the reference hull

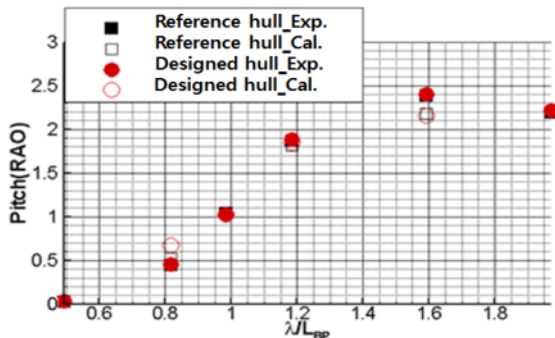


(b) Ship motions of the reference hull and designed hull

Fig. 6 Time histories of the heave and pitch motions at $\lambda=1.2 L$



(a) Heave motion RAO



(b) Pitch motion RAO

Fig. 7 Comparison of the motion RAOs of the reference and designed hull

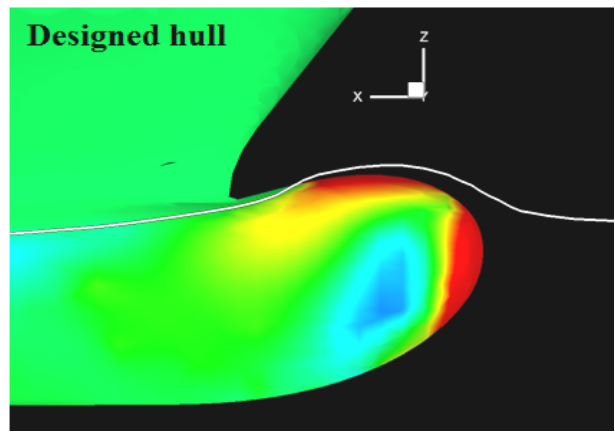
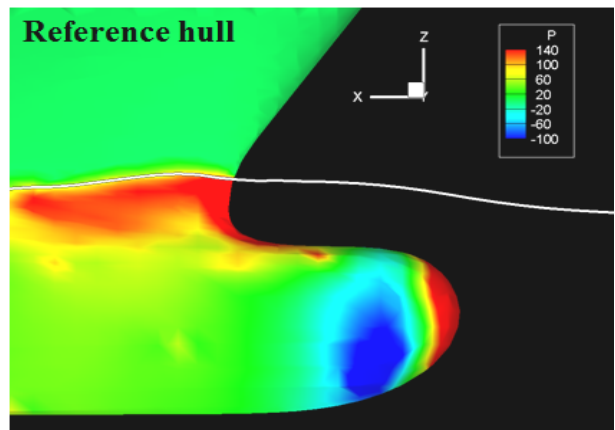


Fig. 8 Wave height contours and the pressure distributions of the reference hull and designed hull at $\lambda=1.2 L$

상하동요가 가장 크게 발생되는데도 불구하고, Fig. 3에서와 마찬가지로 파도 중에서도 거위목 벌브로 인하여 선체에는 큰 압력이 발생되지 않아, 거위목 벌브의 형상에 의한 저항이 증가되지만 선체에 걸리는 압력을 감소시킴으로 부가저항의 차이도 크지 않을 것으로 생각된다. 실제로 Fig. 9을 보면, 각 파장별로 기준선형과 설계선형의 부가저항계수는 근접한 것을 확인할 수 있어, 거위목 벌브 적용 시 정수 중에서의 저항은 감소가 되어도, 거위목 벌브에 의한 부가저항은 증가하지 않는 것을 확인할 수 있다.

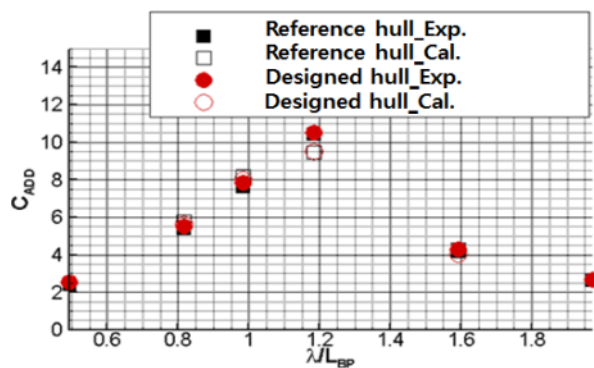


Fig. 9 Comparisons of added resistance coefficient

4. 내항성능 해석 결과

기준선형에 상대적으로 크기가 큰 거위목 벌브를 적용하였을 때, 선수부에 큰 부력이 발생할 수 있다. 그러므로 운항 중에는 선수부에 큰 부력의 발생으로 내항성능이 불리할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 거위목 벌브 적용 시 선수부와 선실이 위치하고 있는 선체 중앙부에 대하여 가속도계를 설치하고 파랑 중에 선체에 발생하는 가속도를 측정하였다(Fig. 10).

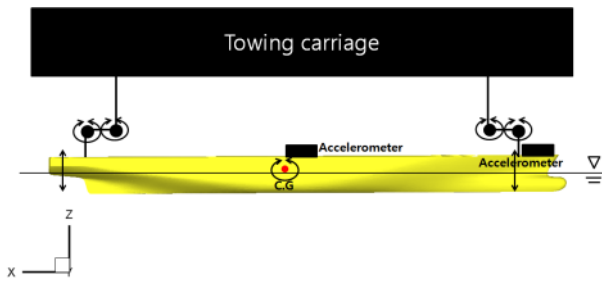
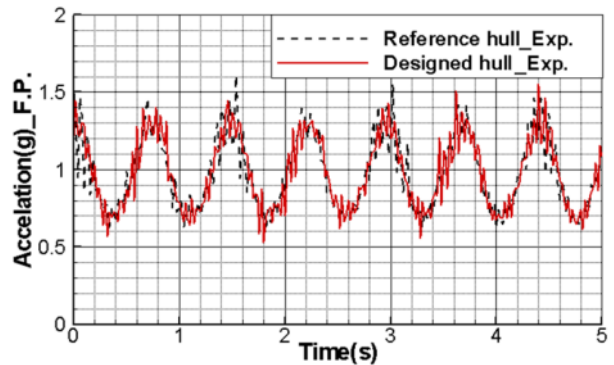


Fig. 10 Locations of the accelerometer installation

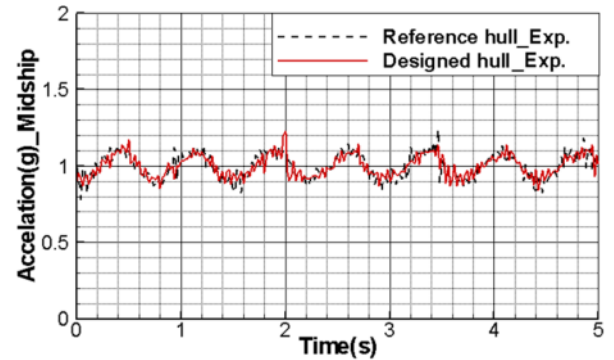
본 연구대상 선형의 선종은 여객선으로 실제 해상에서 최대파고 3 m 일 때(sea state 5, 폭풍주의보 발령기준), 운항에 제한을 받는다. 따라서 이 극한 상태에서 내항성능이 만족된다면, 운항 시 승선원들의 피로감, 적재된 화물들과 재설비 등에 의한 선박의 구조적인 안전성을 확보할 수 있다. Sea state 5에서의 해상조건을 모형 축척비로 나타낸 것은 부가저항 시험조건(Table 2)과 같으며, $\lambda=0.5 \sim 2.0$ L사이에서 모형시험을 수행하였다.

실제 해상상태를 운항하는 선박의 경우 승선원의 안락감과 안정감, 선체, 적재물 등의 안전을 고려하여 파랑 등의 외력에 대한 선박의 내항성능을 평가한다. 이때의 여객선 선체의 운동으로부터 발생하는 내항성능 평가요소는 갑판해수침입, 슬래밍, 횡동요, 좌우가속도, 상하가속도 등이 있으며, 여객선의 경우 상하가속도의 한계치는 0.7 g이다 (Kim, et al., 2003).

본 연구에서는 모형시험 조건이 갑판침입수나 슬래밍이 발생되지 않으며, 모형시험 시 상하동요와 종동요를 제외하고 다른 선체 운동은 구속하였기 때문에, 상하가속도만 평가를 수행하고자 하였다. Fig. 11은 상하동요가 가장 크게 발생하는 파장($\lambda=1.2$ L)에서 각 위치별 가속도에 대한 시간기록을 나타낸다. 선수부 가속도의 경우 상하동요와 종동요가 동시에 발생되어 상대적으로 가속도의 진폭이 크게 나타나며, 선체 중앙부의 경우에는 상대적으로 종동요의 영향은 적고 상하동요의 영향이 크기 때문에 진폭이 작은 것을 확인할 수 있다. 선체 운동이 크게 일어나는 파장의 결과이기 때문에 큰 진폭으로 인하여 선수부에는 기준선형과 설계선형 모두 약 2.1 g 정도로 큰 가속도를 가지며, 선체 중앙부의 경우에는 기준선형과 설계선형 모두 약 0.2 g 정도로 선수부에 비하여서 상대적으로 작은 가속도를 가진다. 여객선의 경우에는 승선원들이 활동하는 선실과 화물을 적재하는 부분들이 선체 중앙부에 위치하므로 상대적으로 안전할 것으로 생각된다.



(a) Acceleration at F.P.



(b) Acceleration at Midship

Fig. 11 Time history of the acceleration at F.P and midship

Fig. 12는 모형시험 시 각 파장별로 계측한 가속도의 크기를 나타낸다. 각 파장에 따른 선수부와 선체 중심부에서의 가속도를 보면, 가속도의 크기가 전체적으로 큰 변화가 없는 것을 확인할 수 있으며, Fig. 11과 마찬가지로 가속도의 크기는 선수부가 선체 중앙부에 비하여 상대적으로 큰 것을 확인할 수 있다. 이는 앞서 언급한 것과 마찬가지로 상하동요에 의한 가속도에 비하여 종동요에 의한 가속도의 영향이 큰 것으로 생각된다. 그리고 거위목 벌브의 크기가 상대적으로 일반 벌브에 비하여 크지만 각 파장별로 가속도의 크기는 선수부와 선수 중앙부 모두 기준선형과 설계선형이 근접한 것을 확인할 수 있다.

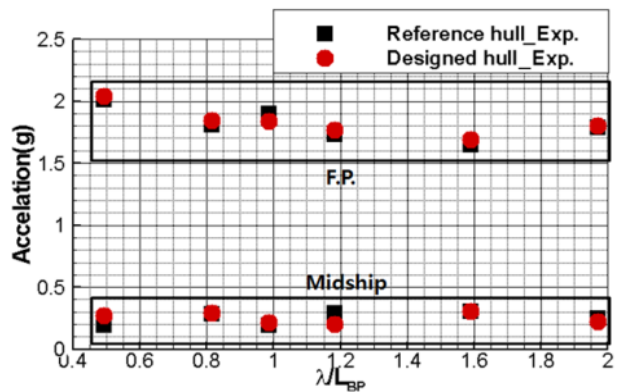


Fig. 12 Comparisons of the acceleration according to the wave length

Fig. 13은 상하동요가 가장 크게 발생하는 파장($\lambda=1.2L$)에서의 9.5 st위치 자유수면 형상과 z방향 속도성분(w(m/s))의 분포를 동일위상($\theta=0.5\pi$)에서 나타낸 것이다. 기준선형의 벌브 상부근처에서의 국부적인 유동이 설계선형과 차이가 있지만, w의 절대값의 크기가 선속에 비하여 미미하며, 선체표면 주위 유동의 전반적인 w의 절대값 변화와 그 분포는 큰 차이를 보이지 않는다. 이는 벌브 형상의 변화가 상하동요, 종동요 그리고 수직가속도에 미치는 영향이 크지 않은 원인 중의 하나로 사료된다.

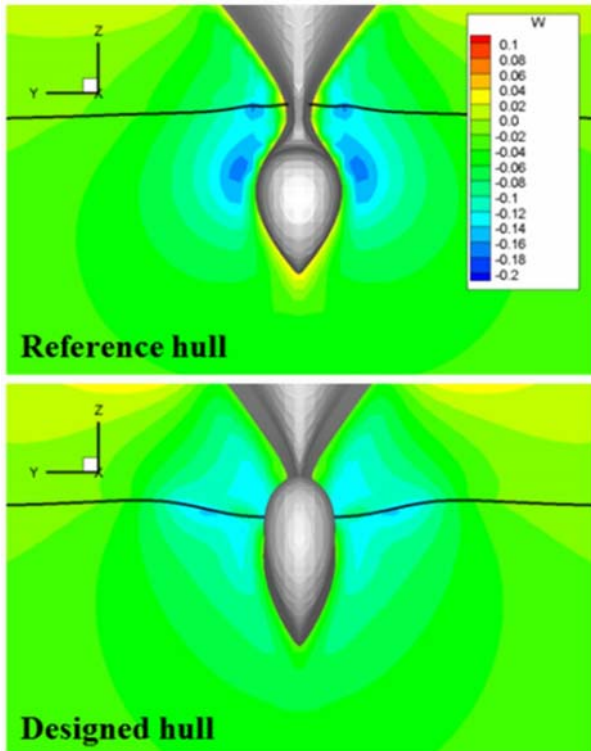


Fig. 13 Comparisons of the w-velocity on the flow field at 9.5 st. ($\lambda=1.2L$ and $\theta=0.5\pi$)

5. 결론

본 연구에서는 거위목 벌브 적용으로 인한 정수 중 저항성능, 파랑 중 부가저항성능, 내항성능변화에 대하여 평가하였다.

- 1) 거위목 벌브는 일반 벌브에 비하여 자유수면 근처로 체적 중심을 위치시켜, 조파저항을 감소하고 선수부에 발생하는 압력을 감소시킴으로써 형상저항을 감소시킨다. 따라서 거위목 벌브 적용으로 정수 중 유효마력을 약 14%정도 감소시킬 수 있다.
- 2) 거위목 벌브를 적용한 설계선형의 경우 거위목 벌브로 인하여 선체에 발생하는 압력을 감소시킴으로 일반 벌브에 비하여 부가저항계수의 증가는 크지 않다.

- 3) 기준선형과 설계선형의 선체표면 주위 유동의 z방향 속도성분 분포가 큰 차이를 보이지 않는다. 이에 따라 거위목 벌브 적용으로 인한 벌브 형상의 변화가 상하동요, 종동요 그리고 수직가속도에 미치는 영향은 크지 않다.
- 4) 본 연구에서의 거위목 벌브는 조파저항과 형상저항을 감소시킴으로 저항성능을 개선하며, 부가저항과 내항성능에는 크지 않은 변화를 줄 수 있으므로 여객선에 거위목 벌브 적용으로 큰 에너지감소효과를 얻을 수 있다.

후기

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2012R1A1A2044939).

References

- Dominic, S.C., 2007. *Joint High Speed Sealift (JHSS) Baseline Shaft & Strut (Model 5653) Series 1: Bare Hull Resistance, Appended Resistance, and Alternative Bow Evaluations*. West Bethesda: Naval Surface Warfare Center Carderock Division of USA.
- Heimann, J. & Harries, S., 2003. Optimization of the wave-making characteristics of fast ferries. *7th International Conference on Fast Sea Transportation FAST'03*, Ischia, Italy, 7-10 October 2003.
- Heimann, J., 2005. *CFD Based Optimization of the Wave-Making Characteristics of Ship Hulls*. PH.D Thesis. Technical university of Berlin, Germany.
- James, R., 2006. The modern superyacht; enlarged yacht or smaller ship?. *Proceedings of 19th International HISWA Symposium on Yacht Design and Yacht Construction*, Netherlands, 13-14 November 2006, pp.21-32.
- Jeong, K.L. Lee, Y.G. & Kim, N.C., 2010. A Fundamental Study for the Numerical Simulation Method of Green Water Occurrence on Box Deck. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 47(2), pp.188-195.
- Kim, C.S. Jeong, C.H. Kim, S.K. Kong, G.Y. Seol, D.I & Lee, Y.S., 2003. Evaluation of the Ship's Navigational Safety Using Dangerousness on the Korean Coast. *Journal of The Korean Society of Marine Environment & Safety*, 9(1), pp.41-50.
- Maisonneuve, J.J. Harries, S. Marzi, J. Raven, H.C. Viviani, U. & Piippo, H., 2003. Towards optimal

design of ship hull shapes. *8th International Marine Design Conference IMDC'03*, Athens, Greece, 3–5 June 2003.

Seo, M.G. Kim, K.H. Park, D.M & Kim, Y.H., 2013. Comparative Study on Added Resistance for Different Hull Forms by using Weakly–Nonlinear Seakeeping Formulations. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 50(1), pp.49–58.

Valdenazzi, F. Harries, S. Janson, C.E. Leer–Andersen, M. Maisonneuve, J.J. Marzi, J. & Raven, H.C., 2003. The FANTASTIC RoRo: CFD optimisation of the forebody and its experimental verification. *Proceedings of the International Conference on Ship and Shipping Research NAV'03*, Palermo, Italy, 23–27 June 2003, pp.3.7.1–3.7.14.

Yu, J.W. Lee, Y.G. & Jeong, K.L., 2010. A Study on the Resistance Performance of the Goose Neck Bulbous Bow by Numerical Simulation Method. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 47(5), pp.689–696.

Yu, J.W. Lee, Y.G. & Lee, S.H., 2014. Improvement in Resistance Performance of a Medium–Sized Passenger Ship with Variation of Bulbous Bow Shape. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 51(4), pp.334–341.

