대 한 조 선 학 회 논 문 집
제39권 제4호 2002년 11월

Journal of the Society of Naval Architects of Korea
Vol. 39, No. 4, pp.42-53, November 2002

황해형 고속 여객선의 선형설계에 관한 연구

김호은*, 이영길**

A Study on the Hull Form Development of High-Speed Passenger Ship for the Yellow Sea Region

Ho-Eun Kim* and Young-Gill Lee**

요 약

본 논문에서는 황해의 자연 환경과 물류환경에 대한 조사를 바탕으로, 황해권의 해상수송시스템에 적합한 황해형 고속 여객선에 대하여 선형설계를 수행하였으며, 그에 대한 수치계산과 실험을 통하여 저항 성능을 파악하고자 하였다.

황해형 고속 여객선이 인천국제공항의 부족한 육상교통수송수단의 대안으로서 활용되는 것이 적합하다고 판단되었으며, 인천국제공항으로의 해상운송대책을 제시하고자 하였다. 이를 위하여, 계획항로에 대한 경제성의 평가를 수행하였으며, 황해형 고속 여객선의 선형으로는 쌍동선에 대하여 연구하였다. 설계는 기존 고속선 들의 주요제원 및 항로와 수심, 황해권 물류환경 등의 설계 제조건들을 고려하여 수행되었으며, 공기 공동에 의한 저항감소 효과도 검토되었다. 실험에 앞서 수치계산을 수행하여 설계선형의 저항성능을 검토하였으며, 계산 및 실험은 심해조건 뿐만 아니라 운항항로의 얕은 수심을 고려하여 천수조건에 대하여도 수행되었다.

이와 같은 일련의 선형설계와 수치계산 및 실험으로부터 저항성능을 고려한 황해형 고속선형의 설계능력을 확보하였으며, 앞으로의 황해권 해상수송시스템 구축을 위한 활용가능성을 검토하였다.

※Keywords: 고속 여객선(High-Speed Passenger Ship), 쌍동선(Catamaran), 선형 개발(Hull Form Development), 천수(Shallow Water), 공기 공동(Air Cavity)

Abstract

This paper is for the hull form development of high-speed passenger ship in the Yellow Sea. To carry out hull form development in Yellow Sea, a catamaran which is designed for

접수일자: 2002년 6월 28일, 승인일자: 2002년 10월 4일

* 주저자, 인하대학교 대학원 선박공학과, 현 대우조선해양주식회사 해양특수선 선체설계1팀
(E-mail: hekim@dsme.co.kr)
**정회원, 인하대학교 공과대학 기계공학부 교수 (E-mail: younglee@inha.ac.kr)

high-speed as well as comfortable passenger vessel up to now is selected and investigated.

For this, environments of the Yellow Sea such as tide, water depth and so on are considered as important factor. The economical efficiency of the designed ship is considered too. In order to estimate the resistance characteristics of the designed hull form, numerical simulations and model test are performed.

1. 서론

최근, 중국과의 교류가 활발해지고, 인천국제공항의 개항과 서해안 고속도로의 완전 개통에 따라, 보다 빠르고 안전한 황해권 해상수송수단의 개발이 요구되어 지고 있다. 이에 따라서 본 논문에서는 황해의 자연환경을 고려하여 황해권에서 운항 가능한 여객운송수단의 개발을 목표로 연구를 수행하였다.

본 논문에서는 개발될 선형이 황해의 다른 여러 운항항로 보다도 육상교통수단부족이 예상되는 인천국제공항에 대한 해상운송수단으로 제시되는 것이 적합하다고 판단되었다. 이를 위하여, 단기적인 대책과 장기적인 대책으로 나누어 경제성을 평가하였다.

황해권에 적합한 고속 여객선의 선형은 배수량형에 비하여 고속화에 유리하고, 황해권의 낮은 수심에서도 흘수에 의한 운항상의 제한을 극복하는데 유리한 쌍동선형이 적합하다고 판단되었다(H. Turner/A. Taplin, 1968).

본 연구에서는 황해형 고속 여객선의 개발을 위하여 쌍동선의 양 선체간 간격비가 미치는 영향(간섭효과)과 황해의 낮은 수심에 의한 영향(천수효과)에 대하여 검토하였으며, 아울러 선저에 공기공동을 적용한 선형에 대하여 검토하였다.

일반적으로 쌍동선은 두 개의 단동체에 의하여 지지되는 선형으로 단동체 사이의 간격비에 따라서 선체간섭과 파간섭에 의한 저항성능에 차이를 보인다. 따라서, 간섭효과를 최소화하는 최적의 간격비에 대하여 연구하였다(J. E. Rovera 1997, 나영인외 1996). 또한, 계획항로와 같이 수심이 얕은 곳을 운항하는 선박은 저항 및 침하, 트림 등이 수심의 제한에 의한 선저 압력의 저하로 인하여 증가하는 천수영향을 받으므로, 이에 대한 검토를 수행하였다(김성용/이영길 2001, 김호은외 2000, A. Millward 1984, A. Millward 1989, 大串雅信 1977, Q, Xu-tao 1989). 한편, 최근 연구가 활발하게 진행되고 있는 공기공동을 적용하여 공기공동효과가 저항감소에 미치는 영향을 파악하고자 하였다(고석천/김효철 1999, 고석천/김효철 1997, 장진호/김효철 1999, 한범우/김효철 1998).

선형의 설계는 조파저항성능과 운항항로의 제한조건 등을 고려하여 수행하였으며, 설계된 선형에 대하여 수치계산과 모형선 예인 수조실험을 천수상태와 심수상태에 대하여 각각 수행하였다.

2. 경제성 평가

본 논문에서는 계획 항로로서 휴가철뿐만 아니라 비성수기에도 꾸준한 이용객을 확보할 수 있는 인천국제공항에 대하여 검토하게 되었다. 인천국제공항은 전용 고속도로 이외의 다른 연결 교통망의 부족에 대한 지적이 끊이지 않고 있다. 현재, 인천국제공항의 연결 교통망으로는, 먼저 2000년 11월에 완공된 전용 고속도로와 지난 2001년에 착공에 들어가 1단계로 2005년까지 인천공항~김포공항 구간(41㎞)을 개통하며, 2단계로 김포공항~서울역 구간(20.5㎞)을 2008년 말 완공 예정인 전용 철도가 있다. 한편, 송도신도시와 공항을 연육교로 잇는 계획과 인천시와 공항을 잇는 도시계획도로 및 신 공항 연결도로와 경인전철을 연장하여 공항까지 운항하는 도시철도가 계획되었다. 그러나, 이미 완공된 전용 고속도로와 2005년에 완공 예정인 전용 철도를 제외한 나머지 연결 교통망은 정부의 재정사정과 막대한 공사비로 인한 민자유치의 어려움으로 모두 연기되거나 착공에도

못 들어간 상태이다.

이와 같이 인천국제공항으로의 유일한 연결교통망인 인천국제공항 전용고속도로의 경우, 과다한 통행료 및 주차료로 경제적 부담이 크며, 해안 및 해상에 위치하여 안개 및 결빙에 의한 사고의 위험이 높으며, 회차로 및 구급차나 소방차가 상주할 공간이 없어 경미한 사고에도 극심한 교통체증이 발생할 가능성이 높다. 한편, 1999년 2월 감사원 감사결과 지적된 바 있듯이 전쟁이나 지진 등 자연재해로 교량이 파괴될 때를 대비한 비상수송수단의 필요가 요구됨을 감안할 때, 해상수송시스템의 구축은 가장 신속하며 경제적으로 이러한 문제점을 해결하는 대안이 될 수 있을 것이다.

본 논문에서는 인천국제공항을 목표로 한 해상수송대책으로서 단기적인 대책과 장기적인 대책으로 나누어서 고려하여 보았다. 단기적인 대책으로는, 인천 연안부두의 여객터미널과 인천국제공항의 남측 접안시설 사이에 해상운송수단을 투입하는 방법(항로 1)을 계획하였다. 장기적인 대책으로는, 건설예정 중인 경인운하를 이용하여 한강 잠실 선착장에서 인천국제공항의 남측 방파제의 여객터미널을 연결하는 항로2-1과 한강 잠실 선착장에서 경인운하를 이용하여 덕적도를 연결하는 항로2-2에 대하여 계획하였다. 2-1, 2-2 모두, 서울 전지역의 여객을 소화할 수 있도록 하기 위하여 잠실과 양화선착장을 경유하는 것으로 계획하였다. 계획된 항로의 장단점에 대하여 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Comparison of service routes

Description	Route 1	Route 2	
		2-1	2-2
View Point	Short term distance	Long term distance	
Route	Inchon~Airport	Seoul~Airport	Seoul~Duk-Juk Island
Advantage	Usage of existing establishment	Demanding of large scale public work	
Disadvantage	Small Passenger	Large Passenger	
Distance	abt. 10 n.mile	abt. 30 n.mile	abt. 55 n.mile
Required Time	0.5 Hour	2.0 Hour	2.5 Hour

인천국제공항이 개항한 현재, 이용객 및 교통량을 계측자료를 바탕으로 추정하고자 하였으나 자료의 미비로 추정에 어려운 점이 있었다. 따라서, 개항전에 작성된 자료를 바탕으로 여객수요에 대하여 조사하였다. 이 조사에서는 각 지역별 여객수요에 대한 결과도 함께 나타내었으므로, 항로1은 인천과 서울 강서지역의 여객수요를, 항로 2-1은 서울 전지역과 경기 일부지역을, 항로 2-2는 항로 2-1에 덕적도의 관광객 수요를 더하여 계산하였다. 이 조사된 여객수요중에서, 실제 해상수송수단의 이용율을 인천국제공항 전용철도의 예상수송분담율인 20%와 같게 하여, 1일 인천국제공항 이용객중의 해상수송이용객을 각각의 항로별로 Table 2와 같이 추정하였다.

Table 2 Car & passenger traffic forecast of Incheon International Airport

Description	Sea Traffic Prediction (person/day)		
	2001	2005	2010
Route 1	31095	28852	43332
Route 2-1	43158	45107	60478
Route 2-2	43296	45266	60668

운임산정과 경제성 비교를 위하여 100인승, 200인승 및 300인승의 3가지 경우에 대하여 검토하였다. 해상수송시스템의 운항비용계산은 일반적으로 좁은 의미의 운항관리비(operating cost), 항해비(voyage cost), 자본비(capital cost)로 분류하여 이루어지지만, 고속여객선의 경우 항공기와 같이 직접운항비(direct operating cost: DOC)와 간접운항비(indirect operating cost: IOC)로 나누어진 총운항비(total operating cost: TOC)로 나타내는 것이 편리하며 아래의 식(1)과 같다(S. Akagi 1993).

$$TOC = DOC + IOC = DOC(1 + k_i) \quad (1)$$

Table 3 Passenger fare of each service route

Description	100 Passenger	200 Passenger	300 Passenger
Route 1	5189.7	3526.4	2818.3
Route 2-1	7984.0	5739.8	4929.6
Route 2-2	5189.7	10579.4	9078.6

각각의 항목에 대한 세부적인 평가를 통하여 얻어진 결과는 Table 3과 같다. 따라서, 선박은 가장 가격경쟁력이 있는 300인승급으로 하고, 항로 1과 항로 2-1 및 항로 2-2의 운임은 각각 2900원, 5000원, 9100원으로 하였다.

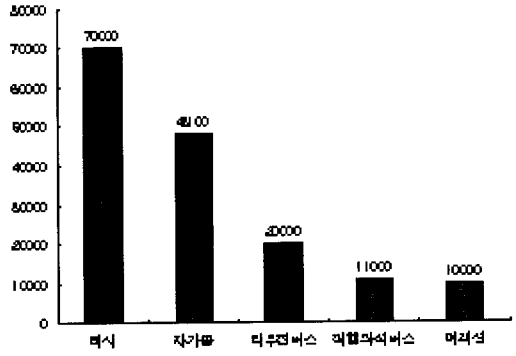


Fig. 1 Transport cost depending on the transportation mean

Fig. 1에서는 항로 2-1에 대하여 산정된 운임을 육상교통망 이용시의 비용과 서로 비교하여 경쟁력을 검토하였다. 여객선을 이용한 공항이용객의 수송이 가장 경제적이고 공항이용에 늦을 염려가 없는 방법이라고 판단된다.

3. 선형개발

먼저, 계획한 각각의 항로 특성에 맞는 선형에 대하여 연구하였다. 우선, 항로 1을 목표로 CATA I을 개발하였으며, CATA I의 실험결과를 바탕으로 선수 어깨부분의 선형개량을 하여 CATA II를 개발하였다. 항로 2-1과 2-2를 목표로는 CATA III를 개발하였으며, 계산 및 실험결과를 바탕으로 선수와 차인부분을 수정하여 CATA IV를 개발하였다.

3.1 CATA I의 선형개발

CATA I의 설계는 파랑관통형 쌍동선을 목표로 유사한 여러 선형에 대한 조사를 토대로 수행되었다. 설계흘수(d)의 결정에 있어서, 운항항로의 수심(평균수심 8.0m)이 비교적 얕은 점을 고려하였다. 또한, 쌍동선의 간격비(s/L)에 따른 저항특성을 파악하고자 간격비가 0.12, 0.17, 0.26, 0.39에 대하여 각각 검토하였다. 여기서, L은 설계선박의 수선간장이며 s는 단동체의 길이방향 중심선간의 거리를 뜻한다. 설계속력의 결정은 인천항만내에서도 운항하는 점을 고려하여 25knots로 하였으며, 추진기관의 선택은 물제트로 하였다. 결정된 주요목은 Table 4와 같다.

Table 4 Principal dimensions of CATA

Principal Demension	Ship	Model
L_{WL} (m)	38.0	1.9
B (m)	12.0	0.6
b (m)	2.0	0.1
d (m)	1.7	0.085
D (m)	4.5	0.17
s/L	0.263	
C_B	0.589	

설계선형의 선수부는 조파저항성능의 향상을 목표로 선체를 날씬하게 하는 방향으로 설계하였다. 선미부는 추진기관을 설치할 경우의 공간을 고려하여 중앙횡단면에서 선미쪽으로 연속하여 형상이 크게 변화하지 않게 연결되는 박스타입의 형태로 설계하였다.

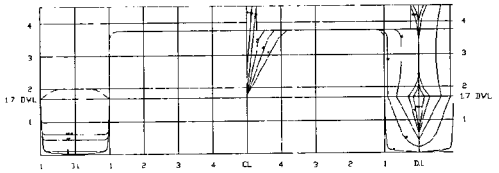


Fig. 2 Body plan of CATA I

모형실험은 축적비가 1/20인 목재 모형선으로, 만재흘수에서 0.12, 0.17, 0.26, 0.39의 4가지 간격비(s/L)에 대하여, 심수조건과 천수조건으로 나누어 수행되었다. 천수조건은 항로 1의 평균수심인 8m를 모형선의 축척비에 비례하는 깊이인 40 ㎝에 맞추어 실험하였다.

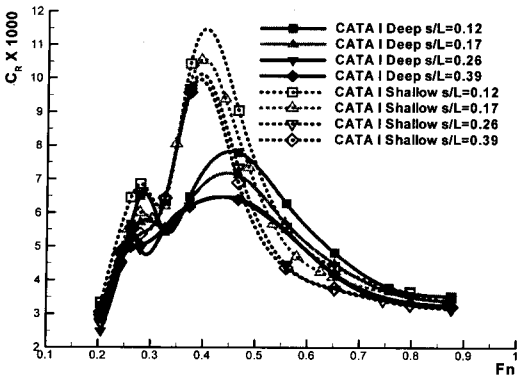


Fig. 3 C_R curves of CATA I

Fig. 3은 실험에 의한 잉여저항계수(C_R)를 각각의 간격비에 대하여 천수와 심수조건에 따라 나타내고 있다. 실험된 잉여저항계수 C_R 값을 통하여 다음 2가지의 현상을 관찰할 수 있다.

1) Fn=0.3근처에서 천수와 심수조건 모두 C_R 곡선의 산(hump)이 배수량형 단동선형에 비하여 비교적 크게 발생하며, 간격비가 좁아질수록 저항계수가 커짐을 볼 수 있다.
2) Fn=0.32~0.46의 천수역 고아임계속도에서는 천수에서의 저항계수가 심수조건에 비해 크게 증가하며, Fn=0.46이상의 초임계속도구간에서는 오히려 더 작아지다가 Fn=0.8부근에서부터는 비슷해지는 현상을 볼 수 있다.

1)의 현상에 대한 원인은 쌍동선의 경우 간격비가 좁아질수록 단동체 사이에서는 파간섭에 의한 영향이 증가하여, 이로 인한 에너지 손실이 발생하여 저항계수가 증가되기 때문으로 본다. 또한, 간격비가 좁을 경우, 단동체 주위에서의 비대칭적 유동현상과 점성의 영향이 커지게 되어 이로 인한 선체간섭 역시 커지게 된다.

2)의 천수에 의한 영향은 임계속도(V_C: critical velocity)가 중요한 인자가 되며, 임계속도는 다음과 같이 정의된다.

$$V_C = \sqrt{gh} \qquad (2)$$

여기서 g는 중력가속도, h는 수심을 나타낸다. 본 모형선에 있어서의 V_C는 Fn=0.46에 해당된다. 일반적으로 천수중에 운항하는 선박에 있어서, 저항치는 심수상태에 비하여 더욱 더 파형과 밀접한 관계를 가지고 있다. 즉, 이상적인 경우에 $0.7V_C$ 이전에서는 천수상태에서도 일반적인 캘빈파형을 관찰할 수 있지만, 점차 속도가 증가하여 V_C에 가까워질수록 발산파의 각도가 점차 커져서 V_C에서 가장 큰 각도의 발산파가 나타나게 되며, 이때의 저항치도 가장 큰 값을 갖는다. 또한, V_C이상의 속도에서는 속도증가와 함께 가로파의 존재각도범위가 점차 줄어들어 초임계속도에서는 심수상태에서보다 오히려 저항이 줄어드는 결과를 나타내게 된다.

Fig. 4는 저항실험을 통한 유효마력 추정 결과를 나타낸 것이다. 유효마력 곡선에서도 마찬가지로, 천수에서는 천수바닥에 의한 영향으로 임계속도 근처에서 유효마력이 증가하는 것을 볼 수 있다. 또한, 설계 간격비인 0.26에서의 유효마력 값이 간격비가 0.39인 경우와 큰 차이가 없음을 보여주고 있다. 즉, 지금까지의 실험의 결과로 보아서 간격비 0.26이 간섭효과가 적고, 건조비용이나 중량증가의 영향, 횡강도등을 고려할 경우, 최적값에 가까울 것이라고 볼 수 있다. 또한, 설계속도에서 수심조건에 따른 유효마력의 차이가 거의 없는 것을 관찰 할 수 있다. 즉, 천수상태에서 임계속도를 넘어 선 후, 저항값은 심수조건보다 작거나 비

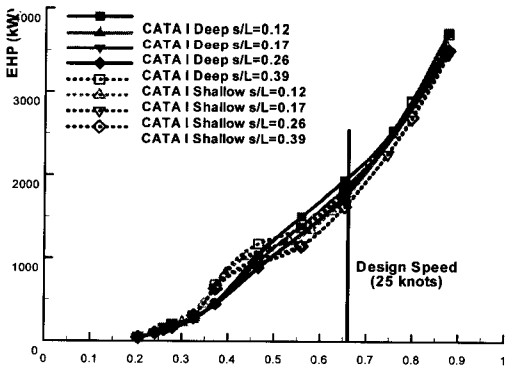


Fig. 4 EHP curves of CATA I

숫하다는 이론과 잘 맞음을 알 수 있다(T. H. Havelock 1926).

3.2 CATA II의 선형개발

CATA I의 성능평가에서 선체어깨부분과 중앙부와의 연결이 매끄럽지 못해 저항성능에 문제가 있다고 판단된 점을 염두에 두고 선형개선을 수행하였다. 선형개선은 선체어깨부분에서 중앙부로의 매끄러운 연결로 유체흐름을 원활하게 하는 것에 중점을 두어 배수량의 변화가 없도록 단면적곡선을 수정한 후, CATA I의 수선면 이하 늑골선을 수정하였다. Fig. 5 에서는 CATA I과 CATA II의 단면적곡선을 비교하여 보여주고 있다.

실제 모형실험에 앞서서 CATA I과 CATA II에 대한 수치시뮬레이션을 통하여, 선형개선에 의한 효과를 검토하고자 하였다. 수치계산은 MAC (Marker And Cell)법을 기초로 한 직사각형격자계에서 수행되었다(나영인외 1996, Y.-G. Lee 1988). Fig. 6의 CATA I과 CATA II에 대한 심수 및 천수조건에서의 선측파형결과에서 CATA II의 선형개선을 통한 어깨파의 감소가 효과 있다고 판단되어 실험을 수행하였다. 실험은 CATA I과 축적비가 같은 1/20인 모형선으로, 최대만재흘수에서 0.17, 0.26의 2가지 간격비(s/L)에 대하여, 심수조건과 천수조건으로 나누어 수행되었다.

Fig. 7은 CATA I과 CATA II의 간격비 0.26에 대한 C_R곡선의 산(hump)이 배수량형 단동선형곡선을 나타내고 있다. 전체적으로 CATA I에 비해서 CATA II의 잉여저항이 적은 것을 알 수 있다. 특히, Fn=0.5 근처에서는 약 10% 정도나 감소한 것을 볼 수가 있다. 하지만, 조파저항에 의한 영향이 줄어드는 Fn=0.80근처의 높은 Fn에서는 그 효과가 1~3%로 비교적 적은 것을 알 수 있다.

유효마력에 대한 결과는 Fig. 8에 나타나 있다.

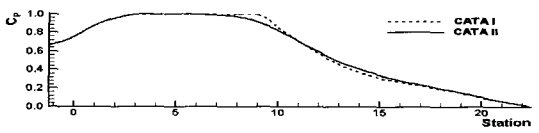


Fig. 5 Sectional area curves comparison

유효마력에 대한 해석결과, 설계속도 25knots에서 심수 및 천수조건에서 유효마력은 간격비에 따른 영향이 있음을 발견 할 수 있었다. 즉, 좁은 간격비에서는 유효마력의 뚜렷한 감소가 나타나지만, 설계간격비에서는 거의 같음을 볼 수 있다. 이러한 현상은 좁은 간격비에서는 어깨파의 파간섭 영향이 크기 때문에 선형개선으로 저항이 크게 감소하지만, 넓은 간격비에서는 상대적으로 파간섭이 작기 때문에 선형개선으로 인한 효과가 크지 않기 때문이라고 판단된다.

실험된 결과를 토대로 CATA II의 선측파형에 대하여 실험과 계산에 대한 결과 비교를 수행하였다. Fig. 9는 그 결과중의 한 예로 천수에서의 선측파형에 대한 CATA II의 실험결과와 계산결과의 비교를 보여주고 있으며, 실제와 상당히 일치하는 것을 볼 수 있어서, 계산의 유용성과 정도를 확인할 수 있었다.

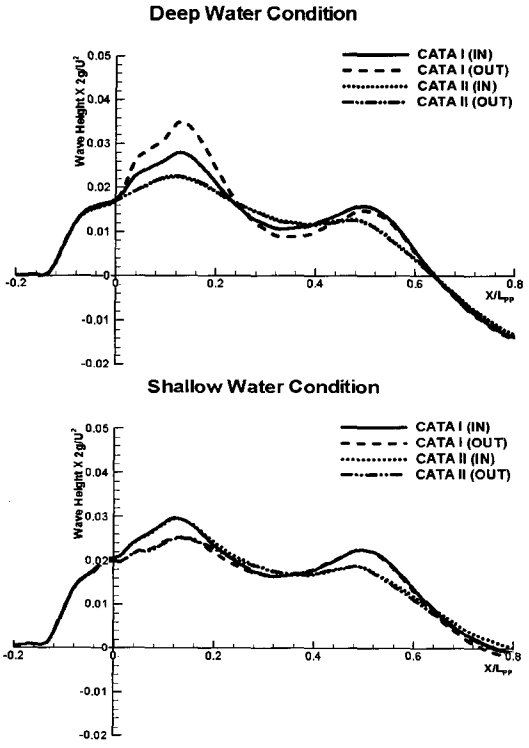
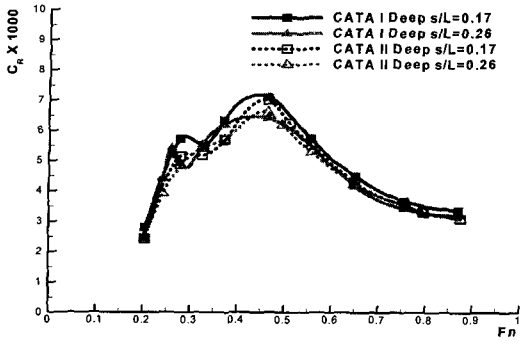
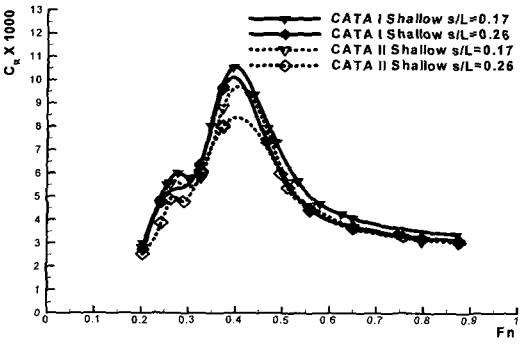


Fig. 6 Wave height profiles of CATA I & CATA II at Fn=0.667



(a) Deep water condition



(b) Shallow water condition

Fig. 7 C_R curves of CATA I & CATA II

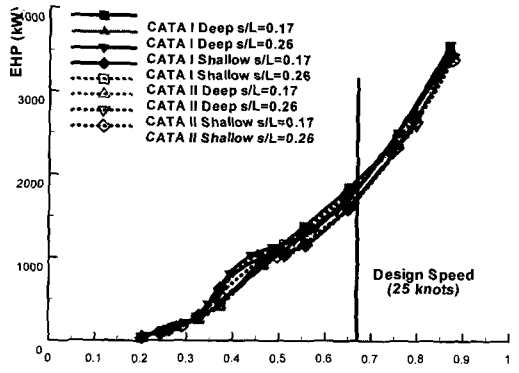


Fig. 8 EHP curves of CATA I & CATA II

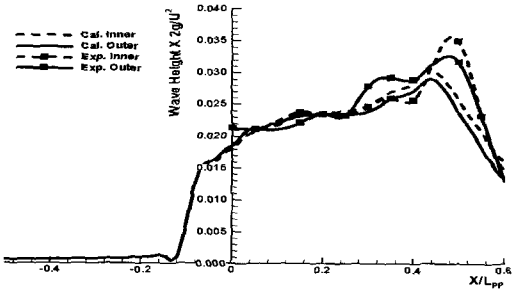


Fig. 9 Comparison of calculation and experiment result about wave height along the hull surface

3.3 CATA III의 선형개발

수심제한이 심한 항로 2-1과 2-2로의 항해를 고려하여 설계되는 CATA III의 선형은 쌍동 반활주선형으로 하였다. 그 이유는 주어진 주요요목하에서 배수량만족을 위해서는 세장비가 비교적 커지게 되는 저항상의 불리함을 극복하기 위함이다. 한편, CATA III는 활주중에 침수표면적의 감소를 목적으로 차인라인이 있는 하드차인형의 선형으로 계획하였다.

흘수(d)의 결정에 있어서, 한강을 운항하였던 고속 선형을 참고하여 1m로 결정하였다. 쌍동선의 간격비(s/L)는 기존의 실험결과를 토대로 비교적 최적화된 간격비라고 판단되는 0.26으로 결정하였다. 설계속력은 CATA I 및 II와 같은 25knots로 하였으며, 추진기관 역시 물제트로 하였다. CATA III의 주요제원은 다음과 같다.

Table 5 Principal dimensions of CATA III

Principal Demension	Ship	Model
L_{WL} (m)	30.000	2.000
B (m)	11.260	0.684
b (m)	2.759	0.184
d (m)	1.000	0.067
D (m)	3.000	0.200
s/L	0.26	
C_B	0.664	

CATA III는 향후 저항성능면에서 유리하다고 판단되는 공기공동선형으로의 적용을 염두에 두고 선저면이 넓고 중앙평행부가 긴 선형으로 계획하였다. 우선, 일반적인 단동 활주선형의 선형에 대한 자료를 바탕으로 활주선형의 특성을 파악한 후, 설계를 수행하였다. Fig. 10은 설계선의 선도를 보여주고 있다.

실제실험에 앞서서 CATA III에 대한 수치계산을 수행하였다. 수치계산은 설계간격비 s/L=0.26에서, 천수와 심수조건에 대하여 수행되었다. Fig. 11은 계산결과중 선측파형의 결과이다.

실험은 축적비가 1/15인 목재 모형선으로, 만재흘수에서 설계간격비(s/L) 0.26이며, 심수와 천수조건에 대하여 수행되었다. 천수조건은 계획항로상에서 가장 얕은, 한강의 평균수심 2m에 해당하는 깊이인 14cm에 대하여 실험되었다.

Fig. 12는 CATA III의 잉여저항계수와 CATA I 및 CATA II의 잉여저항계수를 심수 및 천수조건에 대하여 나타내고 있다. 심수조건에 있어서 잉여저항계수는 중,저속구간에서는 CATA III가 상대적으로 높지만, Fn=0.8 부근의 고속에서는 비슷한 값

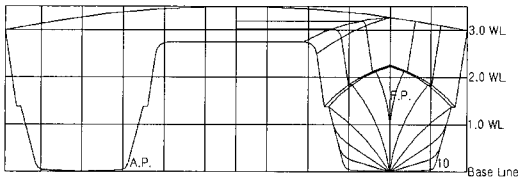


Fig. 10 Body plan of CATA III

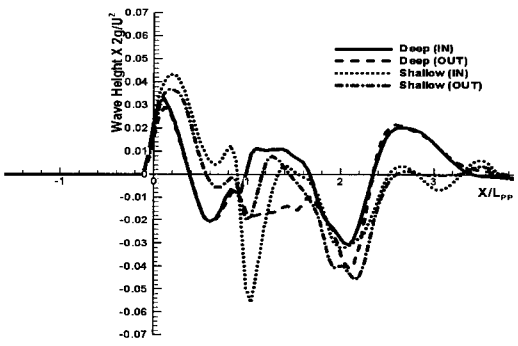


Fig. 11 Wave height profiles of CATA III at Fn=0.749

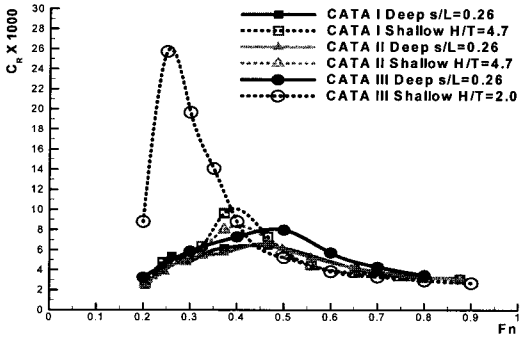


Fig. 12 C_R curves of CATA I, CATA II and CATA III

을 보이고 있다. 또한, 천수조건인 H/T(수심/흘수)가 2.00으로 CATA I, II의 H/T인 4.7에 비하여 천수영향이 크기 때문에 임계속도에 해당하는 Fn=0.25근처에서 잉여저항계수가 급격하게 증가하는 것을 볼 수 있다.

3.4 CATA IV의 개발

CATA IV의 선형은 앞서 개발된 CATA III의 선형을 토대로 선형개선을 수행하였다. 특히, 수선위쪽의 이중 차인 라인이 스프레이 감소 효과가 적고, 오히려 조파저항면에서 불리하다고 판단되어 이를 제거하고 한개의 차인라인(single chine line)으로 계획하였다. 또한, 선미부의 경우 선미끝단에서의 유동을 보다 원활하게 하기 위하여 선저부분에 약간의 경사를 주었다. Fig. 13 에서는 CATA III와 CATA IV의 횡딘면적곡선들을 보여주고 있다.

실제실험에 앞서서 CATA IV에 대한 수치계산을 수행하였다. 수치계산은 설계간격비 s/L=0.26에 대하여, 심수와 천수조건에 대하여 수행되었다.

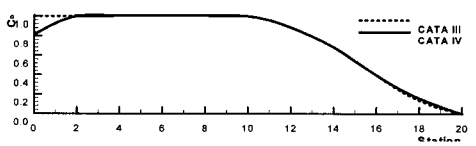


Fig. 13 Comparison of sectional area curves between CATA III & CATA IV

CATA III와의 비교를 위하여 격자계의 상이함에 따른 영향을 배제하고자 심수와 천수조건의 계산에서 CATA III의 격자계와 모두 같게 하였다. 다음은 계산결과의 하나인 선측파형의 결과이다.

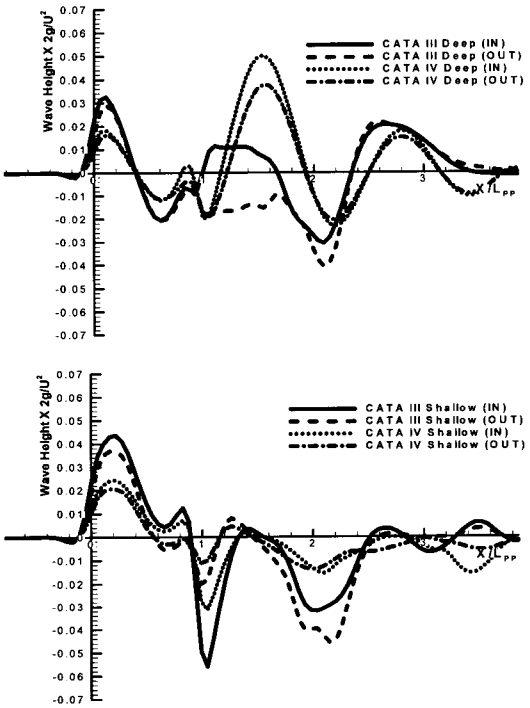


Fig. 14 Wave height profiles of CATA III & CATA IV

실험은 CATA III와 축적비가 같은 1/15인 모형선으로, 최대만재흘수에서 0.26의 간격비(s/L)에 대하여, 심수조건과 천수조건으로 나누어 수행되었다. 천수조건은 CATA III와 같다.

Fig. 15는 CATA IV의 잉여저항계수와 CATA I, II 및 CATA III의 잉여저항계수를 심수 및 천수조건에 대하여 각각 나타내고 있다. 심수조건에 서 CATA IV의 잉여저항계수는 CATA III에 비하여 약 1~3%, 천수조건에서 약 5~8%정도 감소하는 것을 볼 수 있다. 천수에서의 저항감소가 큰 이유는 선미 선저부분의 선형수정이 수심이 얕은 천수에서의 선저유동을 원활하게 한 영향이라고 여겨진다. 또한, Fn=0.750|상의 고속에서의 C_R이 CATA

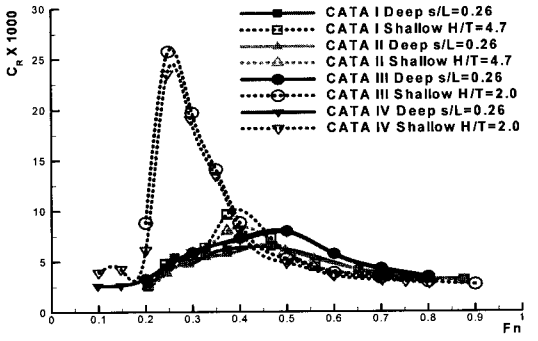


Fig. 15 Comparison of C_R curves at deep water

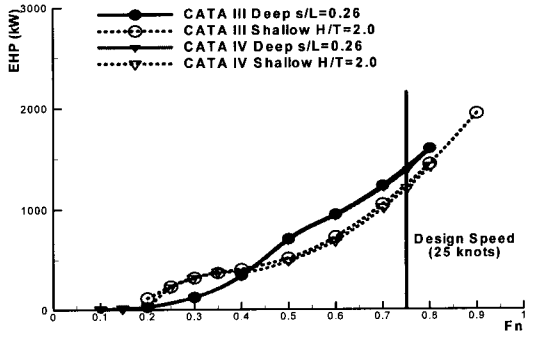


Fig. 16 Comparison of EHP curves

I, II에 비하여 약 10%정도, CATA III에 비하여 약 5%정도 감소하였다. 즉, 선형개선의 결과로 심수보다는 천수에서 저항성능이 개선되었음을 알 수 있었다.

Fig. 16은 CATA IV의 저항실험을 통한 유효마력 추정값을 CATA III와 함께 비교한 결과이다. 설계속도에서의 유효마력이 CATA III에 비하여 근소하지만 심수조건에서는 약 2%, 천수조건에서는 약 3% 감소하였다.

3.5 CATA V의 개발

CATA V선형은 기존의 CATA III 선형을 기준으로 공기공동을 적용한 선형으로, 공기공동의 적용을 위하여 선저 하부에 단(step)을 계획하였다. 단

은 1 station에서 선체중앙부에 걸쳐 위치하며, 크기는 실선 기준으로 폭 1.8m, 길이 13.5m, 높이 0.15m로 계획하였다. 그 결과, 실선상에서 침수표면적은 약 3% 증가하였다.

실험은 CATA III와 축적비가 같은 1/15인 모형선으로, 최대만재흘수에서 0.26의 간격비(s/L)에 대하여, 심수조건과 천수조건으로 나누어 수행되었다. 천수조건은 CATA III와 같다. 다음의 Fig. 17은 완성된 모형선과 선저단의 형상을 보이고 있다.

공기공급을 위하여 단의 시작위치(선체중앙)에 지름 2mm의 공기공급을 위한 구멍을 8mm 간격으로 총 14개를 제작하였으며, 압력계와 유량계를 부착하였다. 공급된 공기의 압력은 0.4Mpa이고, 유량은 70 ℓ/min이다.

다음의 Fig. 18은 CATA V의 심수와 천수에서의 저항실험결과중에서 유효마력곡선을 CATA III 및 CATA IV와 비교한 것이다. 여기서 CATA V는 단이 있는 상태에서 공기공급을 한 경우(w/ air)와 하지 않은 경우(w/o air)에 대하여 실험을 수행하였다. Fig. 18에서 CATA V의 공기공급을 하지 않은 경우와 CATA III의 실험결과를 함께 비교하면, 단의 형성이 저항에 미치는 영향을 관찰 할 수 있으며, CATA V의 공기공급을 한 경우와 CATA IV와의 비교를 통하여 저항개선효과를 알 수 있다.

CATA V의 공기공급을 하지 않은 경우와 CATA III와의 비교에서, 단의 형성으로 인하여 EHP는 심수에서 8.5%,천수에서 5.2% 증가하였다. 그러나, 공기공급을 통하여 심수에서 19.8%, 천수에서 6.5% 감소하였다. 한편, CATA IV와 CATA V의 공기공급을 한 경우에 대한 비교는 심수에서 18.0%, 천수에서 3.5% 감소한 결과를 보이고 있다. 따라서, 공기공급을 통한 저항감소가 효과적이며, 천수보다는 심수에서 효과적이라고 판단 할 수 있었다. 이는, 천수에서 바닥과 선저 사이의 좁은 간격으로 인하여 유속이 증가되면서, 선저의 공기공동 생성 및 유지상태를 교란하기 때문이라고 추측된다.

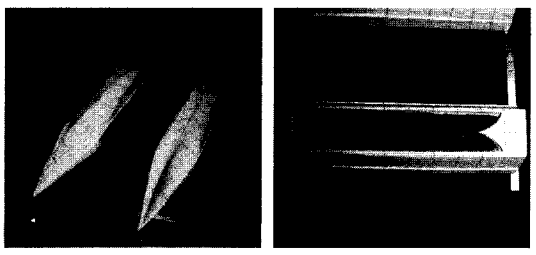
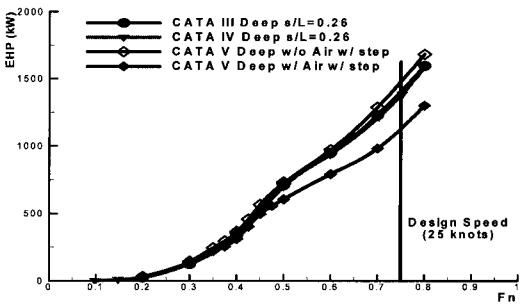
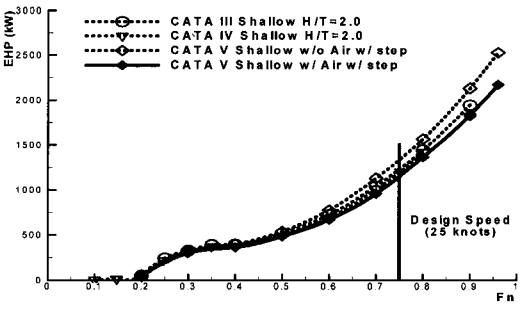


Fig. 17 Model ship of CATA V



(a) Deep water condition



(b) Shallow water condition

Fig. 18 Comparison of EHP curves

3.7 기존 선형과의 비교

실험결과를 이용하여, 기존 선형과의 비교를 통한 선형의 성능을 검토하기 위하여 매톤당 유효마력을 비교하였다. 비교선형은 25노트급의 200인승 연안중속여객선으로 개발된 선형(한국기계연구원 선박·해양공학연구센터 1995)으로, Fig. 19는 매톤당 유효마력 (EHP/t)을 심수조건에서 비교한 것이다. 비교결과, 설계속도에서 CATA I은 기존선형에 비하여 4.6%, CATA II는 4% 감소하였으나, CATA III는 약 1% 증가하였으며, CATA IV는 약 1%의 매톤당 유효마력의 감소를 보이고 있다. CATA III 및 IV가 CATA I 및 II에 비하여 저항이

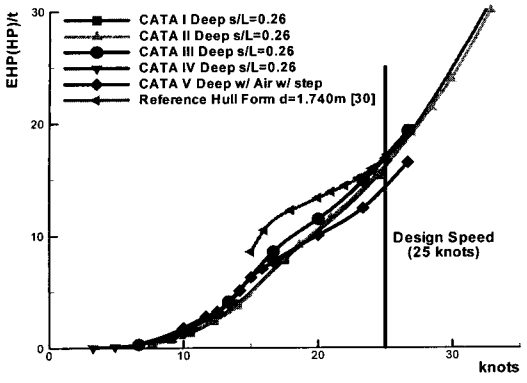


Fig. 19 Comparison of EHP/t

증가한 이유는 주요제원의 불리함으로 인한 영향으로 판단되며, 선형개선으로 인하여 CATA IV가 CATA III에 비하여 저항성능이 약간 개선되었음을 알 수 있다. 그러나, CATA III에 공기공동을 적용한 CATA V는 기존 선형에 비하여 약 15%의 저항감소를 가져왔으며, 공기공동의 적용이 저항성능 개선에 효과적임을 알 수 있었다.

설계속도에 대한 전달효율(η_D=0.49)(손영택외 1995)과 해상여유 10%를 적용하여 엔진 선택을 하면, CATA I 및 II 는 각각 2100kw급의 물제트 기관 2기가, CATA III 및 IV는 각각 1600kw급과 1550kw급의 물제트 기관 2기가 필요하며, CATA V는 1270kw급(해상여유 10%)의 물제트 기관 2기가 필요하게 된다.

4. 결론

본 논문에서는 황해의 자연 환경과 교통 환경에 대한 조사를 바탕으로, 인천국제공항의 부족한 육상교통수송수단의 대안으로 황해형 고속 여객선을 제시하고자 하였다. 이를 위한 항로는 단기적인 대책과 장기적인 대책으로 나누어서 고려하였다. 단기적인 대책으로는 인천 연안부두의 여객터미널과 인천국제공항간(항로 1)을, 장기적인 대책으로는 한강 잠실 선착장에서 건설예정 중인 경인운하를 이용하여 인천국제공항간을 연결하는 항로 2-1과 한강 잠실 선착장에서 경인운하를 이용하여 덕적도를 연결하는 항로2-2에 대하여 계획하였다.

본 연구에서는 각각의 항로 1과 항로2-1 및 2-2에 대한 경제성평가를 바탕으로 각각의 항로에 적합한 고속 여객선에 대하여 선형설계를 수행하였으며, 그에 대한 수치계산과 실험을 통하여 저항 성능을 파악하였다.

(1) 인천국제공항 및 서해도서 지방의 해상운송수단을 제시하였고, 육상교통수단과의 비교에서 시간적, 경제적 경쟁력이 있다고 판단되었다.
(2) 파랑관통형 쌍동선의 기본설계기술을 습득할 수 있었으며, 천수와 심수에서의 저항실험을 통하여, 천수가 선박의 저항에 미치는 영향을 확인하였다. 또한, 쌍동선의 간격비에 따른 저항특성에 대한 기초적인 자료를 얻을 수 있었다.
(3) 쌍동선 주위의 유동장 해석을 위한 수치계산조직을 선형개선에 활용하였으며, 실험결과와의 비교를 통하여 계산조직의 정도가 비교적 높음을 확인할 수 있었다.
(4) CATA III에 대한 선형설계로 반활주형 쌍동선의 기본설계기술을 습득할 수 있었다.
(5) CATA III에 공기공동을 적용하여 실험한 CATA V는 심수에서 CATA III에 비하여 약 16%, CATA IV에 비하여 약 15%의 저항감소가 있었으며, 공기공동의 적용이 저항성능 개선에 효과적인 방법이라고 판단되었다. 한편, 심수에서의 공기공동으로 인한 저항감소가 천수에서 보다 큰 것은, 천수에서는 바닥과 선저 사이의 좁은 간격으로 인하여 유속이 증가되면서, 선저의 공기공동생성을 교란하기 때문이라고 추측된다
(6) 매톤당 유효마력에 대한 기존선과의 비교에 있어서, 설계선형들의 저항성능이 우수함을 확인 할 수 있었다. 또한, 여객선임을 감안하여, 앞으로 내항성능에 대한 수치계산적인 연구가 보다 보강될 필요가 있다고 본다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 지정 인하대학교 황해권 수송시스템 연구센터의 지원에 의한 것입니다.

참 고 문 헌

- 고석천 ,김효철, 1999, "선저부 공기공동을 이용한 실선선형의 저항성능 개선을 위한 선저형상 개량연구" 대한조선학회논문집, Vol. 36, No. 3, pp. 1-7.
- 고석천, 김효철, 1997 "단이 있는 반 활주형선의 선저 단부의 형상이 공기공동의 형성과 저항에 미치는 영향 연구", 대한조선학회 '97 추계학술대회 논문집, pp. 213-217.
- 김성용, 이영길, 2001, "연안-운하 연계수송용 푸셔-바지 선형주위의 유동특성에 관한 연구", 대한조선학회논문집, Vol. 38, No. 1, pp. 9-26.
- 김호은, 서성호, 이영길, 2000, "천수영역에서의 Series 60 선형에 대한 실험적 고찰 ", 대한선박학회 논문집, Vol. 37, No. 3, pp. 21-26.
- 나영인, 정승규, 김성용, 이영길, 이승희, 1996, "고속 쌍동선의 저항성능에 대한 실험 및 수치해석", 초고속선 Workshop, pp. 175-192.
- 손영택, 유승렬, 한동훈, 1995, "대우 F-CAT40 실선 추진성능 연구", 초고속선 Workshop, pp. 75-83.
- 장진호, 김효철, 1999 "선저에 부착된 공기공동에 의한 선박의 저항감소에 관한 연구", 대한조선학회 국문논문집, Vol. 36, No. 2, pp. 1-8.
- 한범우, 김효철, 1998 "공기공급을 이용한 선저 외판의 마찰저항감소기법 연구", 대한조선학회 '98 춘계학술대회 논문집, pp. 221-225.
- 한국기계연구원 선박·해양공학연구센터, 1995, "연안항로용 중속여객선 개발 (1차년도 중간보고서)", 통산산업부.
- 大串雅信, 1977, "理論船舶工學 (下卷)", 海文堂, pp. 114-122.
- A. Millward, 1989, "The Effect of Water Depth on Hull Form Factor", International Shipbuilding Progress Delft, Vol. 36, No. 407, pp 283-302.
- A. Millward, 1984, "The Effect of Hull Cross Section on the Theoretical Wave Resistance of a Fast Ship in Shallow Water", International Shipbuilding Progress Delft, Vol. 31, No. 354, pp. 28-33.
- H. Turner and A. Taplin, 1968, "The Resistance of Large Powered Catamaran", Trans. SNAME, Vol. 76.
- J. E. Rovera, 1997, "Catamaran Resistance from Tests on a Single Demihull", Fast. '97 Papers, pp. 737-742.
- Q, Xu-tao, 1989, "Prediction of Performance of Inland Vessels Influenced by Shallow Water", PRADS '89, pp. 27.1-7.
- S. Akagi, 1993, "A Study of Transport Economy and Market Research for High Speed Marine Passenger Vehicle", FAST '93, pp. 1129-1142.
- T. H. Havelock, 1926, "Some aspects of the theory of ship waves and wave resistance", NECI, Vol. 42.
- Y.-G. Lee, Hideaki Miyata and Hisashi Kajitani, 1988, "Some Application of the TUMMAC Method to 3D Water-wave Problems", Journal of The Society of Naval Architects of Korea, Vol. 25, No. 4, pp.13-27.

< 김 호 은 >

< 이 영 길 >