
 論 文

大韓造船學會論文集
 第 34 卷 第 3 號 1997 年 8 月
 Journal of the Society of
 Naval Architects of Korea
 Vol. 34, No. 3, August 1997

300인승 초고속 수중익 쌍동여객선의 설계에 대한 연구

민계식*, 김외현*, 강선형*

Design of 300 Passenger Super High-Speed Foil Catamaran Ships

by

Keh-Sik Min*, Oi-Hyun Kim* and Seon-Hyung Kang*

요 약

그동안 축적된 기술을 활용하여 차세대 “300인승 초고속 수중익 쌍동여객선”의 설계에 대한 연구를 수행하였으며 연구 수행이 극히 성공적으로 완료되어 모형시험을 통하여 확인된 성능은 설계목표를 훨씬 증가하고 있다. 본 연구를 통하여 설계 완료된 “초고속 수중익 쌍동여객선”의 건조 및 시운전은 이미 완료되었으며 가까운 장래에 시운전 결과를 발표하고자 한다.

Abstract

The design work for the next generation of 300 passenger super high-speed foil catamaran ship has been performed in this study utilizing the accumulated technology and the acquired know-how. The study has been so successfully completed that the performance characteristics confirmed by the model tests are much superior to those of the design target. The construction and the sea trial of the super high-speed foil catamaran passenger ship designed in this study has been completed already. It is the authors' plan to present the sea trial results in the near future.

발 표 : 1996년도 대한조선학회 추계 연구발표회('96. 11. 7)

접수일자 : 1996년 12월 20일, 재접수일자 : 1997년 5월 2일

* 정회원, 현대중공업(주) 선박해양연구소

1. 서 론

21세기 초고속 해상수송시대에 대비하기 위하여 세계 선진조선 각국에서는 1980년대 후반부터 초고속선 개발사업을 앞다투어 서둘러오고 있으며 기술 우위를 선점, 확보하기 위한 치열한 국제경쟁을 벌이고 있다.

이러한 국제적 추세에 대비할 뿐만 아니라 국내외적 주변여건의 변화에 따른 필요성에 의하여 현대중공업 선박해양연구소에서는 1990년 8월 3원화 3단계로 구성된 초고속선 개발계획을 수립하고 개발사업을 적극적으로 추진해 오고 있다. 현재 제 1단계 및 2단계 개발계획을 완료하였고 그 과정을 통하여 초고속선의 최적치수 선정방법, 선형 설계방법, 저항특성 추정방법, 수중익 시스템 설계방법 등에 대한 세계 최초의 체계적인 이론적, 실험적 연구를 수행한 바 있으며 초고속선 설계 및 건조에 대한 기술을 축적하여 오고 있다.

그러나 세계 최대의 단일 조선소로서 현대중공업의 고속선 개발에 대한 궁극적인 목표는 재화중량 10,000톤 이상의 대형 초고속선 개발에 있으며 제 1, 제 2단계의 소형 및 중형 고속선 개발은 그 중간 과정이라고 할 수 있다. 다시 말하면 초기 단계를 통하여 개발되고 축적된 기술을 바탕으로 조심스럽게 최종 목표에 접근하자는 것이다. 따라서 선형(ship type) 결정으로부터 대부분의 특성 결정이 이러한 궁극적인 목표를 염두에 두고 이루어졌다.

선박의 속도를 획기적으로 증가시키기 위해서는 동적(dynamic), 또는 정적(static)방법에 의하여 저항을 감소시키는 선형을 채택하거나 아니면 배수량형 선박의 선형을 아주 날씬하게 하여 조파저항의 급격한 증가를 방지하여야 한다.

동역학적 효과(dynamic effect)에 의하여 고속화하는 선형으로는 전통적인 활주형선(planing hull boat)을 비롯하여 수중익선(hydrofoil boat)을

대표적인 예로 들 수 있고 정적방법에 의하여 고속화하는 선형으로는 공기부양선(air cushion vehicle)을 대표적인 예로 들 수 있다. 이 중에서 활주형 선박은 이미 20세기 초에 실용화되었으며 소형 수중익선과 소형 공기부양선도 60년대부터 70년대에 걸쳐 경비정이나 소형 연안여객선으로 실용화된 바 있다. 그러나 이와 같은 형태의 선박들은 각각이 지닌 특성으로 인하여 일반적으로 경제성이 떨어지고 악천후시 내항성능이 열악할 뿐만 아니라 특히 대형화할 수가 없다는 치명적인 단점을 가지고 있다.

반면 고속 쌍동선(catamaran ship)은 기본적으로 선체를 날씬하게 하여 속도에 따른 조파저항의 급격한 증가현상을 방지함으로써 고속화의 목적을 달성하자는 착상하에 개발되어온 배수량형 선형으로써 많은 실용적인 장점을 가지고 있다. 그러나 쌍동선의 많은 장점 중에서도 가장 주목할 만한 장점은 다른 특성의 희생 없이 선박의 크기를 쉽게 증가시킬 수 있다는, 즉 쉽게 대형화 할 수 있다는 점에 있다. 따라서 선박의 크기를 쉽게 증가시킬 수 있으면서도 크기를 증가시킬수록 고속성능이 향상되는 배수량형 쌍동선을 당사 초고속선 개발사업의 기본선형으로 채택하였다.

이러한 쌍동선의 일반적인 장점은 부력에 의하여 지지되는 쌍동선의 선체와 동력학적 양력(dynamic lift)을 발생하는 수중익 시스템(hydrofoil system)을 적절히 결합함으로써 더욱 향상될 수 있다. 수중익 쌍동선에 있어서 수중익 시스템은 고속항주시 상당한 양력을 발생하여 선체의 많은 부분을 수면위로 부양함으로써 선박의 저항을 감소시키고 선속을 증가시키는 효과를 가져올 뿐만 아니라 파랑중 선체 운동시 운동제어기(motion control device)역할을 함으로써 내항성능을 크게 향상시키는 효과를 가져온다. 따라서 수중익 쌍동선형을 당사의 기본 고속선형으로 채택하였다.

본 연구소에서는 그동안의 개발경험과 축적된 기술을 반영하여 소형 초고속 연안여객선을 개발

하기로 결정하고 45 knot*형과 50 knot*형의 두 가지 표준선을 설계 완료하였으며 45 knot형의 표준선을 건조중에 있다.

본 논문에서는 300인승 초고속 수중익 쌍동여객선의 개발내용에 대하여 논의를 하고자 한다.

2. 중량추정 및 주요치수 선정

본 연구의 대상선은 연안용 여객선이기 때문에 요구되는 선속과 내항성을 유지하면서 선체중량과 건조비가 최소화 되도록 설계하기로 하였다. 그리고 한 가지 선형에 출력이 다른 주기관을 설치함으로써 운항속도 40 knot선과 45 knot선의 두 가지 표준선을 개발하기로 하였다.

초고속선에 대한 당사의 연구결과 및 실제 건조 경험으로 부터 초기 배수량을 추정한 후 당 연구소에서 개발한 “초고속선의 저항추정 및 최적치수 선정 프로그램[1]”을 사용하여 주요치수를 선정하고 선정된 주요치수를 사용하여 중량을 다시 추정하는 과정을 반복하여 선형설계를 위한 주요치수를 결정하였다. 이렇게 하여 선박의 주요 특성을 결정하고 요구되는 배수량을 추정하였으며 Table 1은 기본설계 및 성능확인을 위한 모형시험이 완료된 후의 주요 특성 및 중량추정 결과를 보여주고 있다.

3. 선형설계

소형 고속선의 선체 재질로는 전 세계적으로 알루미늄이 많이 쓰이고 있으며 본 연구에서도 선체 재질로 알루미늄을 채택하였는바 소형 알루미늄선은 알루미늄의 특성상 선체 제작성을 크게 향상시키기 위하여 횡단면을 직선으로 하여야 한다.

* 초기 목표는 40 knot형과 45 knot형의 두가지 표준선을 개발하는 것이었으나 모형시험 후 초기의 목표를 훨씬 더 능가하는 45 knot와 50 knot의 성능으로 향상되었음이 판명되었음.

Table 1 Main Characteristics and Weight Estimation after the Completion of Basic Design

		제1표준선	제2표준선
주요특성	운항속도(V_s), kts	45.0	50.0
	승객수, 인	300	
	수선간길이(LPP),m	32.0	
	선폭(BR), m	9.4	
	단동선폭(B), m	2.6	
	설계흘수(T), m	1.4	1.5
	주기관 출력, kw	약 2,000	약 2,700
정하중량	선 체	43.8	43.8
	기관 및 의장	69.7	82.7
	수중익시스템	11.2	12.7
	계	124.7	139.2
재화중량	여객 및 승무원	21.5	
	연료유, 청수, 운환유	7.3	7.8
	기타 재고품	1.5	1.5
	계	30.3	30.8
만재 배수량		155.0	170.0

따라서 선형설계는 우선 참고문헌 [1]에 소개한 방법에 따라 만재흘수와 정상운항 상태의 흘수에 대한 최적선형을 구한 후 두 가지 특성을 적절히 결합하여 직선선형으로 수정하는 절차를 따랐다.

그리고 선박이 정상 운항할 때, 즉 설계속도로 운항할 때 수중익에 의한 양력과 부력의 설계기준을 각각 65%와 35%로 설정하고 35% 배수량에 대응하는 대체적인 흘수를 정상운항 흘수로 삼았다. 또한 추진장치로 물분사 추진기(water - jet)를 채택하였으므로 추진기로의 물 흡입관(water inlet duct) 설치를 위한 선저평선(flat of bottom line)을 준비하여야 한다. 흡입관 입구의 중심은 대략 제 5번 station에 위치하고 입구의 폭은 최소 0.7 m가 되어야 하나 양쪽으로 각각 0.1 m씩 여유를 두어 0.9 m가 되도록 하였으며 다음과 같이 세 가지 형(type)의 선저평선을 준비하였으며 선저평선의 형상에 따라 선형을 BP1, BP2, BP3로 구분하기로 하였다.

- Cosine - 직선형(BP1 선형)
- 직 선 - 직선형(BP2 선형)
- 0.6 m waterline에 비례형(BP3 선형)

이와같이 세 가지 기준선, 즉

- 1.5 m 흘수에서의 흘수선
- 0.6 m 흘수에서의 흘수선
- 선저평선(flat of bottom line)

으로 부터 각 station에 있어서 기준점을 구하고 기준점들을 직선으로 연결함으로써 직선횡단면 선형을 설계하였으며 Figure 1은 직선 횡단면 선형의 설계개념 및 구체적인 설계절차를 보여주고 있다.

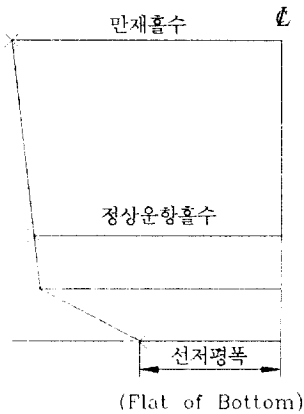


Fig. 1 Design concept of the hull form with straightline body plan

초기 모형시험 결과에 의하면 세 가지 선형, 즉 BP1, BP2, BP3에 대한 성능이 모두 우수하고 서로 비슷하였으나 BP1 선형이 사소하게나마 가장 우수하였다. 따라서 세 가지 선형중 BP1 선형을 선택한 후 저항성능을 조금이라도 더 향상시켜 보려는 노력의 일환으로 BP1 선형의 특성에 지금까지의 여러가지 경험을 반영하여 선형을 하나 더 설계하고 BP4로 명명하였다.

최종 선형 선정을 위하여 두 가지 선형, 즉 BP1

과 BP4에 대하여 설계속도 근처에서 각각 세번씩 반복시험을 수행한 후 평균 저항값을 서로 비교하여 보았다. 시험결과와 비교 검토로 부터 BP4 선형을 최종선형으로 채택하였으며 끝이어서 쌍동선 선형을 설계하였다. Figure 2는 쌍동선 선형을 보여주고 있다.

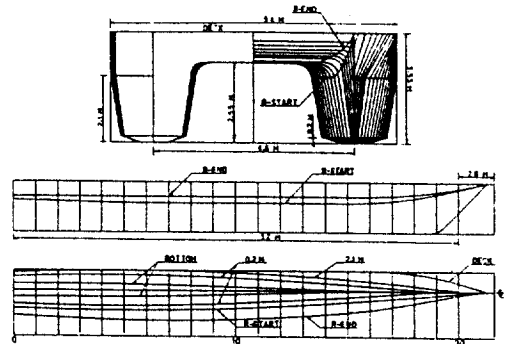


Fig. 2 Hull form(Lines) plan of the catamaran ship

4. 수중익 시스템 설계

본 연구에 있어서 수중익 시스템의 설계 개념은 종래의 수중익선과는 달리 고속항주시 선체를 완전히 수면위로 부양하는 것이 아니라 일정 부분만 부양하는 것으로 되어있다. 선체가 수면위로 완전히 부양되는 종래의 수중익선은 복잡한 운항제어장치가 필요하고 저항추진상 유리하지도 않을 뿐만 아니라 무엇보다도 선박을 대형화 할 수 없다는 치명적인 단점을 가지고 있다.

본 연구에 있어서 선박이 항진할 때 선박의 총 중량은 선체의 부력과 수중익 시스템이 발생하는 양력에 의하여 지지되며 수중익 시스템은 고속항주시 상당한 양력을 발생하여 선체의 많은 부분을 수면위로 부양함으로써 선박의 저항을 감소시키고 선속을 증가시키는 효과를 가져올 뿐만 아니라 파랑중 선체운동시 운동제어기(motion control device) 역할을 함으로써 내항성능을 크게 향상시키는 효과를 가져온다. 따라서 수중익 시스템에

의하여 고속성능과 내항성능을 동시에 향상시킬 수 있다.

수중익 시스템의 설계 초기에 있어서 가장 중요하고도 어려운 점은 여러 가지 성능의 종합적인 면에서 최적이 되도록 부력과 양력의 비율을 결정하는 것이다. 본 연구의 대상선박은 소형여객선이므로 저항성능과 내항성능외에 조종성능도 고려하여야 한다. 다시 말해서 선체가 어느정도 이상 부양되면 선체 측면의 파랑이나 바람으로 인하여 항로유지 능력이 크게 저하된다. 즉 직진 성능(straightline stability) 및 항로유지 능력(course-keeping capability)에 문제가 유발된다.

그러나 이 문제는 그렇게 간단하지가 않고 상당히 어렵고 복잡하다. 실험적 분석에 있어서는 수중익 부착 선체 주위의 복잡한 물리적 현상과 모형시험에 대한 여러가지 실제적인 문제점으로 인하여 많은 시간과 경비가 요구되면서도 부정확하고 이론적 분석에 있어서는 오늘날 세계적으로 공인을 받는 적절한 이론이 정립되어 있지 않다. 그러나 당사에서는 초고속 수중익 쌍동선과 수중익 시스템에 대한 지속적인 연구결과[2, 3]로부터 상당히 정확한 설계기준을 도출해 놓은바 있으며 이러한 여러가지 점을 종합적으로 고려하여 부력대 양력의 비율을 40 : 60으로 결정하였다.

그 다음에 결정해야 할 사항은 선박을 지지하기 위하여 필요한 60%의 양력중 선수미 수중익의 분담율에 대한 것이다. 이에 대해서는 선박이 설계속도로 운항중 선체가 대체적으로 1° 정도의 동적 선미트림을 유지하도록 한다는 방침을 세웠다. 이 분담율은 선박의 중심과 부심의 위치 및 정상 운항시 선체의 동적특성, 그리고 선수미 수중익의 위치로 부터 구할 수 있으나 실제로는 많은 경험과 고도의 축적된 기술이 요구된다. Figure 3은 수중익 시스템의 설계 개념을 보여주고 있다.

Figure 3에서 Δ_B , Mt, LF, LA는 각각 정상운항

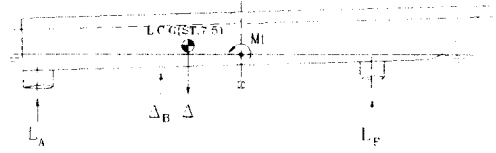


Fig. 3 Design concept of the hydrofoil system

시 선체 배수량과 선체에 미치는 트림 모멘트(trimming moment) 및 선수 수중익과 선미 수중익에 의한 발생양력을 나타낸다.

수중익 시스템은 3단계를 거쳐 최종 시스템이 결정되었다. 먼저 지금까지 논의한 설계개념에 따라 4쪽의 초기 수중익 시스템을 설계하였으며 모형시험을 통하여 저항성능과 운항자세가 양호한 2쪽을 선정하였다. 그 다음 선정된 수중익 시스템의 특성을 수정하여 2쪽의 중간 수중익 시스템을 준비하였다. 끝으로 2쪽의 중간 수중익 시스템에 대한 철저한 모형시험을 통하여 저항성능과 운항자세 및 내항성능의 종합적인 면에서 가장 우수한 최종 수중익 시스템을 선정하였다.

최종 수중익 시스템은 당사 선박해양연구소 예인수조에서의 철저한 모형시험과 독일 HSVA에서의 확인시험을 통하여 선정되었으며 Figure 4는 최종 수중익 시스템의 위치 및 선체와의 연결방식을 보여주고 있다.

5. 모형시험

5.1 개요

선형 및 수중익 시스템의 선정을 위하여, 그리고 성능확인을 위하여 모형시험의 수행이 필요하다. 모형시험은 당사 선박해양연구소(HMRI)와 독일 HSVA의 심수 예인수조에서 수행하였다.

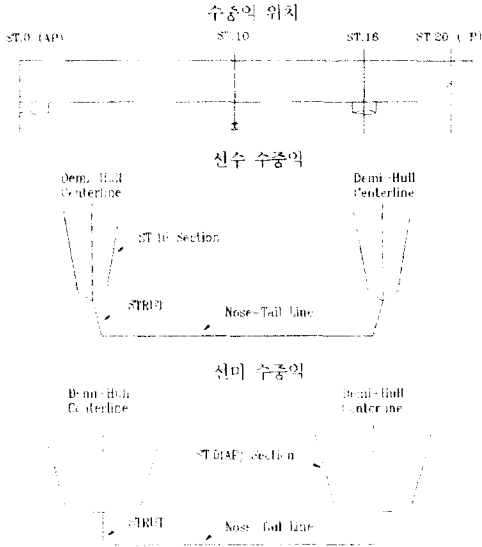


Fig. 4 Location of the final foil system and connection to the hull

당사 선박해양연구소에서는 단동선에 대한 모형 시험을 비롯하여 모든 모형시험을 수행하였고 HSVA에서는 최종 성능확인 시험을 수행하였다.

단동선의 모형선 길이는 3.2m(축척비=1/10)로 하였고 최종쌍동선의 모형선 길이는 6.4m(축척비=1/5)로 하였으며 모형선은 모두 목재를 사용하여 제작하였다. 수중익 시스템의 모형은 최종 쌍동 모형선의 축척비와 동일하게 알루미늄판을 가공하여 제작하였다.

Figure 5와 6은 당사 선박해양연구소에서 제작한 4척의 단동 모형선과 수중익시스템을 부착한 최종 쌍동 모형선을 보여주고 있다.

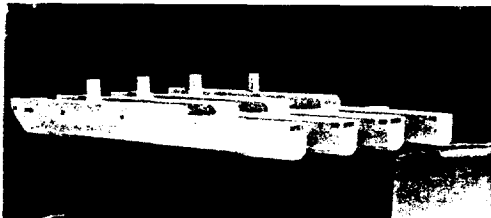


Fig. 5 Four(4) demi-hull models(HMRI)

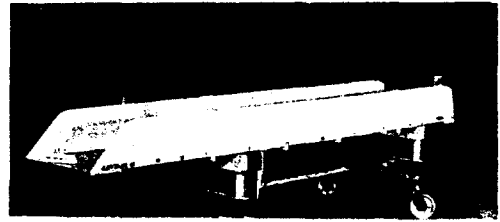


Fig. 6 Catamaran ship model with the final foil system(HMRI)

5.2 나선의 저항시험

우선 4척의 단동 모형선에 대하여 설계속도 근처에서 저항시험을 수행한 후 시험 결과로부터 1차적으로 BP1과 BP4의 두 가지 선형을 선정하였다. 그리고 최종선형을 결정하기 위해서 두 가지 선정된 선형에 대하여 설계속도 근처에서 각각 세 번씩 반복시험을 수행한 후 저항값의 평균을 구하여 서로 비교 검토하여 보았으며 Table 2에 모형 시험 결과를 정리하여 놓았다.

Table 2 Resistance test results for two selected demi-hull forms

△ (tonne)	구 분	Run No.	BP1			BP4		
			35 kts	40 kts	45 kts	35 kts	40 kts	45 kts
30	모 형 선 (N)	1	23.2	29.2	36.8	23.1	29.1	36.6
		2	23.1	29.2	36.7	23.0	29.1	36.6
		3	23.2	29.2	36.6	23.1	29.1	36.6
		평균	23.2	29.2	36.7	23.1	29.1	36.6
	실선(kN)	35.8	45.1	57.1	35.5	44.8	56.9	
70	모 형 선 (N)	1	43.6	53.6	64.8	43.5	53.4	64.3
		2	43.5	53.6	64.8	43.5	53.2	64.4
		3	43.5	53.6	64.7	43.4	53.3	64.6
		평균	43.5	53.6	64.8	43.5	53.3	54.4
	실선(kN)	71.7	87.6	105.4	71.2	86.6	104.2	

Table 2에서 볼 수 있는 바와 같이 BP1 선형과 BP4 선형의 저항성능은 모두 우수하고 우열을 가리기 힘들 정도로 서로 비슷하였으나 BP4 선형이 모든 선속에 있어서 사소하게나마 조금 더 우수

하고 제작이 용이하리라 생각되므로 BP4 선형을 최종 선형으로 결정하였다.

이어서 쌍동모형선을 제작하고 여러가지 배수량에 대한 세부 저항시험을 수행하였다. Figure 7은 당 연구소(HMRI)에서 수행한 쌍동선 나선의 모형시험 광경을 보여주고 있으며 모형시험 결과는 Table 3에 정리되어 있다.

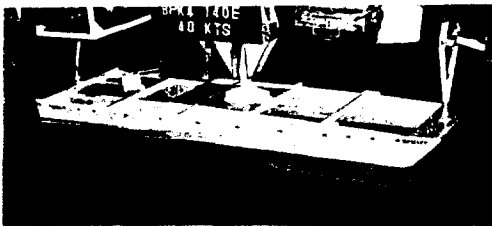


Fig. 7 Bare hull resistance test of the catamaran ship(HMRI)



Fig. 8 Resistance test of the catamaran ship with the final foil system(HMRI)

Table 3 Catamaran bare hull resistance test results

- Resistance in kN

Δ (tonne) V_s (kts)	60	140	155
25	-	117	134
30	59	128	145
35	76	159	178
40	97	193	217
45	121	236	267
50	149	282	318

5.3 수중익 시스템 부착시험

4쌍의 초기 수중익 시스템(No. 1P~4P)을 차례 차례 쌍동선 선체에 부착하고 수중익 시스템 부착에 대한 시험을 수행하였다. 초기 시험 결과로부터 성능 및 자세가 우수한 2쌍을 선정한 후 특성을 약간 수정하여 2쌍의 중간 수중익 시스템(No. 1I~2I)을 준비하였으며 역시 차례차례 쌍동선 선체에 부착하고 모형시험을 수행하였다.

Figure 8은 당 연구소(HMRI)에서 최종 수중익 시스템을 부착하고 수행한 쌍동선의 모형시험 광경을 보여주고 있으며 Figure 7과 비교하여 불 때 수중익 시스템이 발생하는 양력에 의하여 선체가 설계목표만큼 부양되는 것을 알 수 있다.

5.4 내항성능 시험

최종 수중익 시스템 선정을 위한 수중익 시험, 즉 2쌍의 중간 수중익 시스템 시험에 있어서 내항 시험은 기본이 되는 정성적 시험만 수행하고 정량적 시험은 최종 시스템 선정후 세부 시험시 수행하기로 하였다. 따라서 2쌍의 중간 수중익 시스템에 대하여 저항시험이 끝난후 곧이어 정성적 내항시험, 즉 요구되는 해상상태(sea state)에서 설계속도로 운항시 수중익의 수면 상부로의 부양과 과도한 운동(특히 pitching) 발생 여부를 살펴보았다. 정성적 초기시험 결과에 의하면 중간 수중익 시스템 모두 해상 상태 4(sea state 4)에서 수중익이 수면위로 부양되는 경우가 거의 없었고 자세도 양호함이 판명되었다.

6. 최종시스템의 선정 및 성능 요약

광범위한 이론적, 실험적 연구를 통하여 최종선형과 최종 수중익 시스템이 결정되었다. 이어서 최종 시스템에 대한 운항 성능을 확인하기 위하여 체계적인 세부 모형시험을 수행하였다.

여기서 한 가지 특별히 언급하여야 할 사항이

있다. 부력-양력 복합수중익 쌍동선에 있어서는 일반 선박과는 달리 만재상태에서의 선속이 시운전 상태(경하중량)시의 선속보다 훨씬 더 고속이라는 것이다. 따라서 성능평가의 기반이 되는 운항상태를 설정할 필요가 있으며 본 연구에서는 만재화 중량의 50%를 그 기준으로 삼았다. 이 경우에 있어서 두 가지 표준선의 성능평가를 위한 기준 배수량은 각각 약 140톤과 155톤이 된다.

6.1 저항특성

두 가지 적재상태, 즉 140 tonne과 155 tonne의 두 가지 배수량에 대하여 적절한 실제 운항조건, 즉 적절한 초기(정적)트림 조건을 결정하고 그에 따른 선속을 추정하기 위하여 여러가지 초기(정적)트림에 대한 세부 모형시험을 수행하였다. Table 4는 최종 선형 및 수중익 시스템에 대한 초기 트림별 저항시험 결과를 보여주고 있다.

시운전시의 선속추정을 위해서는 모형시험으로부터 도출된 선체저항에 공기저항을 포함시켜야 한다. 공기저항 추정을 위해서는 Figure 9에서 볼 수 있는 바와 같은 정면 투영면적(frontal area)과 공기저항 계수 0.7을 사용하였다.

Table 4 Resistance test results for the final hull form and hydrofoil system

- 공기저항 불포함

Δ (tonnes)	특성 초기 트림 선속 (kts)	실선저항(KN)				동적트림(deg)			
		0.0°	0.5°	1.0°	1.5°	0.0°	0.5°	1.0°	1.5°
140	35	108	105	106	109	0.63	0.99	1.37	1.85
	40	118	112	104	107	0.50	0.81	1.05	1.54
	45	109	107	100	102	0.52	0.94	1.22	1.38
155	40	131	125	118	123	0.70	1.00	1.25	1.70
	45	132	120	120	122	0.59	0.90	1.27	1.65
	50	127	119	118	123	1.15	1.22	1.26	1.49

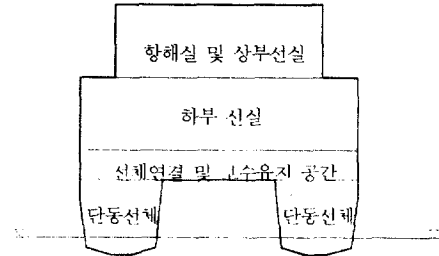


Fig. 9 Approximate frontal shape

세부 저항시험 결과로부터 적절한 운항조건으로는 두 가지 기준 배수량 모두에 대하여 0.7°의 초기(정적)트림 상태를 선정하였으며 모형시험 결과에 의하면 선속 40 knot~45 knot에서 이에 대응하는 실제 운항시의 동적트림(dynamic trim)은 약 1°가 된다. Table 5는 여러가지 초기(정적)트림각에 대한 시운전시의 저항추정 결과를 보여주고 있으며 안전한 선속 추정을 위해서 5%의 여유(margin)를 두었다.

Table 5 Sea-trial resistance prediction for the final system

- 시운전 조건(공기저항 포함)
- 5%의 여유 포함

Δ (tonnes)	V _s (kts)	초기(정적) 트림(deg)			
		0.5°	0.7°	1.0°	1.5°
140	35	119.3	114.0	120.3	123.5
	40	129.4	118.9	121.0	124.2
	45	127.3	122.0	119.9	122.0
155	40	143.1	142.0	135.7	141.0
	45	140.9	144.1	140.9	143.0
	50	143.5	145.6	142.4	147.7

6.2 선속

앞에서 설명한 바와 같이 Table 5에는 모형시험의 불확실성과 안전을 고려하여 5%의 여유(margin)를 포함한 시운전 상태의 저항값이 정리

되어 있다. Table 5의 자료를 가지고 물분사 추진기(water-jet) 제작소를 방문하여 공동으로 선속을 추정하였다.

Figure 10은 물분사 추진기 제작소에서 공급한 선속-마력-추력곡선과 시운전시의 저항곡선의 예를 보여주고 있으며 Table 6에는 Figure 10과 같은 추력-저항 곡선으로 부터 추정한 예상 최대 선속이 정리되어 있다. Table 6으로 부터 알 수 있는 바와 같이 본 연구를 통하여 개발된 초고속 수중익 쌍동 여객선의 최고 속도는 초기의 목표를 훨씬 더 증가하는 선속 45 knot와 50 knot에 이를 것으로 예상된다.

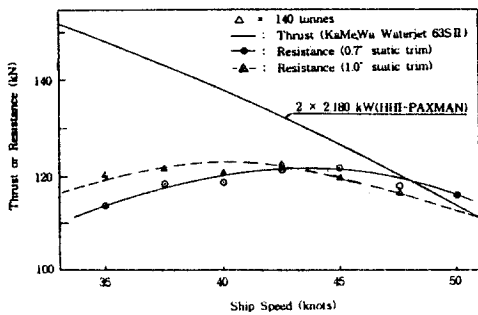


Fig. 10 An example of waterjet thrust and ship's resistance curves

6.3 내항성능

운동시험은 최종 선형의 나선과 최종 수중익 시스템 부착선 각각에 대하여 모두 수행함으로써 내항성능에 대한 수중익 시스템의 효과를 살펴 보기로 하였다. 시험조건으로는 해상상태(sea state) 4와 두 가지 기준배수량에 대한 초기 설계속도, 즉 40 knot와 45 knot를 선정하였으며 예인수조를 두 번 왕복하는 동안 운동특성을 기록하여 시험이 끝난 후 통계적으로 처리하였다.

운동시험 결과에 의한 실선의 예상 내항성능과 ISO에서 추천하는 내항성능(ISO 2631/3)과를 비교하여 보면 본 연구대상선의 내항성능은 해상상태(sea state) 4에서 8시간 이상의 장시간 승선을

Table 6 Expected maximum speed at the sea trial

△ (tonnes)	초기(정적)트림 (deg.)	동적트림 (deg.)	엔진 출력(kW)	
			2×2,180 ^{*1}	2×3,018 ^{**2}
140	0.0 (Even Keel)	0.5	41.9	-
	0.7	1.0	48.0	-
	1.0	1.2	51.0	-
155	0.0 (Even Keel)	0.8	-	52.5
	0.7	1.1	-	53.4
	1.0	1.4	-	54.1

- * 1. HHI-PAXMAN 12VP185엔진+KaMeWa Water Jet 63S II × 2 Set 사용
- 2. HHI-PAXMAN VALENTA 16V CM엔진+KaMeWa Water Jet 71S II × 2 Set 사용

하여도 대부분의 승객이 크게 불편을 느끼지 않을 만큼 극히 우수한 성능임을 알 수 있다.

7. 구조설계

7.1 개요

본 연구의 대상선은 운항거리가 짧은 근해 운항을 목표로 하고 있으므로 구조설계도 근해 운항에 적합하게 최대한 경량화 시키도록 노력하였다.

선체의 재질은 처음부터 알루미늄으로 결정하였다. 그러나 알루미늄은 일반강재에 비하여 피로강도가 낮기 때문에 구조의 피로강도를 향상시키기 위하여 고응력 부위에서 응력집중을 회피할 수 있는 설계를 함과 동시에 피로수명 예측을 통하여 세심한 검토를 실시하기로 하였다.

본 선박의 수중익 재질로써 초기 수중익 설계 단계에서는 항복강도 10,000 kgf/cm²인 스테인레스강을 잠정적으로 결정하였으나 그만큼 강도를 갖는 스테인레스강은 사실상 구할 수가 없어서 7,500 kgf/cm²급 고강도 스테인레스강(17-4 PH)으로 수정하였으며 후판을 구입 후 기계가공 하기로 하였다.

7.2 중앙단면 설계

초기 선형결정을 위한 중량추정 단계에서부터 중앙단면도 설계를 동시에 진행하였다. 본 선박의 선급은 한국선급협회(KR)이나 한국선급협회에는 알루미늄 고속선에 대한 구조설계 지침이 아직 준비되어 있지 않으므로 노르웨이 선급협회(DnV) 규정에 따라 구조설계를 진행하였다.

- 운항시 최대 허용 파고 : 2.5 m
- 선 급 : 한국선급협회(KR)
- 사용재질 : 알루미늄A-5083 H321(선체용판재)
알루미늄A-6082 T6(내부재용 형강재)

구조설계에 있어서 건조공수 절감과 알루미늄재의 용접 열변형을 줄이는 한편, 용접부위에서의 균열발생을 피하기 위해서 압출재(extruded profile) 사용을 최대화 하였으며 건조의 용이와 중량절감을 위한 부재배치 및 고응력 부위를 피할 수 있도록 중점적인 노력을 하였다. 그리고 최종 강도 확인을 위하여 구조해석과 주요 연결 부위에 대한 강도 평가를 동시에 수행하였다.

선체는 종방향 부재배치방식이고 강력 감판인 상갑판은 선수 끝단부터 선미단까지 종통으로 배치되었다. 슬래밍 및 횡 비틀림 모멘트에 대비하여 갑판 연결부에는 종방향 거더(girder)를 배치하는 한편, 슬래밍 지역에 대해서는 국부적인 보강 구조를 적용하였다.

그리고 종강도 및 횡강도에 대해서 상부구조의 영향은 고려하지 않고 하부 주선체에 의해서만 강도가 만족될 수 있도록 설계하였다.

7.3 구조해석

주요 부재에 대한 구조적 안전성을 확인하기 위하여 다음과 같은 순서에 따라 구조해석이 수행되었다.

- (1) 선체에 작용하는 하중계산
- (2) 기관실 및 중앙부 횡단면 해석

- (3) 수중익과 선체 연결부 상세해석
- (4) 허용응력에 따른 안전성 평가

구조해석에 대해서는 본 연구를 수행하여 오면서 2권의 보고서가 별도로 준비된 바 있으며[4, 5] 지면 관계상 본 논문에서는 자세한 논의를 하지 않으려 한다.

Figure 11은 유한요소법에 의한 구조해석용 해석모델을 보여주고 있고 Figure 12는 선미 수중익의 구조해석 결과를 보여주고 있다.

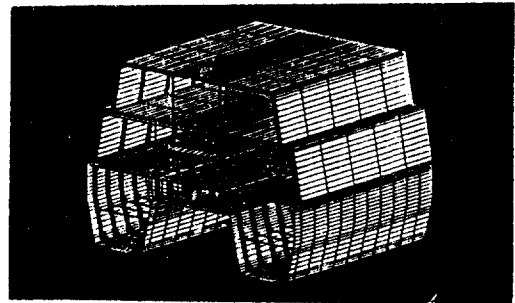


Fig. 11 Modelling for the structural analysis

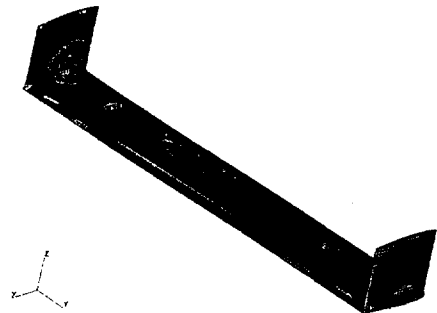


Fig. 12 Results of the structural analysis for the aft foil system

8. 결론

지금까지 300인승 초고속 수중익 쌍동여객선의 설계를 위한 연구에 대하여 논의를 하였다. 설계

과정을 통하여 방대한 양의 체계적인 이론적, 시험적 연구가 수행되었으며 본 연구에 대한 결과를 다음과 같이 요약할 수 있다. :

- 초고속선에 대한 지속적인 연구를 통하여 우수한 성능의 초고속선 설계를 위한 최적치수 선정방법, 선형설계 방법, 저항추정 방법, 수중익 시스템 설계방법 및 구조설계 지침등 각종 설계도구가 마련되었다.
- 본 연구를 통하여 설계 완료된 선박의 성능은 설계 목표보다 훨씬 더 우수하다는 것이 최종 모형시험을 통하여 확인되었다. 즉 선속에 있어서 설계목표인 40 knot와 45 knot를 월등히 능가하는 45 knot와 50 knot에 도달하리라 추정되며 내항성능도 해상상태(sea state) 4에서 8 시간 이상의 장시간 승선을 하여도 대부분의 승객이 크게 불편을 느끼지 않을 만큼 극히 우수한 성능일 것으로 추정된다. 이것은 전 세계의 유사선을 살펴볼 때 비교할 수 없을 만큼 우수한 것이다.
- 구조설계 기술 역시 한국선급협회(KR)는 물론 여러 세계 유수의 선급협회에 설계기준 및 설계지침을 제공하여 줄 만큼 앞서 있으며 선체중량의 경량화로 전체적인 성능향상에 크게 기여하였다.

종합적으로 보아 본 연구는 극히 성공적으로 수행 완료되었으며 지금까지의 각종 연구를 통하여 축적된 기술은 향후 대형 초고속선 개발을 위한 충분한 기술적 기반이 되리라고 확신한다.

참 고 문 헌

- [1] 민계식, 강선형, "배수량형 초고속선의 선형설계 및 저항특성 추정을 위한 체계적 연구", 대한조선학회 논문집, Vol.33, No.3, 1996년.
- [2] 민계식, 이흥기, "자유수면하 이동하는 새로운 수중익 단면의 개발 및 유체역학적 특성 추정에 대한 체계적 연구", 1996년도 대한조선학회 춘계특별강연회 및 연구발표회 논문집, 1996년 4월.
- [3] 민계식, 이흥기, "자유수면하 이동하는 새로운 수중익 단면의 개발 및 유체역학적 특성 추정에 대한 체계적 연구", 현대중공업 선박해양연구소 연구보고서 HMRI-92-06-S100, 1995년 6월.
- [4] 최익홍, 김계현, "초고속 수중익 쌍동여객선 개발을 위한 선체 구조 해석", 현대중공업 선박해양연구소 연구보고서 HMRI-95-03-R053, 1995년 3월.
- [5] Kim, O-H., Choe, I-H., Choi, B-K. and Kim, P-Y., "Design of High-Speed Foil Catamaran Passenger Ship - Structural Analysis of Hydrofoil", Research Report HMRI-96-02-R031, Hyundai Maritime Research Institute, Feb. 1996.