

고속 대형여객선의 선형특성에 대한 연구

장학수^{†*}, 이화준*, 주영렬*, 전호환**

삼성중공업 거제조선소 여객선설계팀*, 부산대학교 조선해양공학과**

Review on the Hull Form Characteristics of a High-Speed Large Passenger Ferry

Hag-Soo Jang*, Hwa-Joon Lee*, Young-Ryeol Joo* and Ho-Hwan Chun**

Cruise & Ferry Design Team, Samsung Heavy Industries Co. Ltd.*
Dept. of Naval Architecture & Ocean Engineering, Pusan National University**

Abstract

Large Passenger Ferry has been delivered with a tendency of high speed since 1990's. More than 50 ferries that exceed 25 knots in service speed are operating or under construction these days. Therefore, the hull form development for the large size ferry should be carefully carried out with some design points such as high service speed, severe criteria for stability, and complex design of appendages. This paper reviewed principal particulars and hull form characteristics of a high-speed large passenger ferry. It is also suggested the optimization method of hull form and appendages in point of resistance & propulsion performance. Finally, it is also introduced a high-speed large passenger ferry developed by Samsung Heavy Industries Co., Ltd., the key design points in hull form development.

※Keyword : Passenger Ferry(여객선), Hull Form(선형), Optimization(최적화)

1. 개요

배수량형 선형을 갖는 여객선의 고속화는 60년대 후반부터 70년대 초반까지 소형여객선에 대하여 이루어졌으며, 70년대 후반에는 대형여객선의 고속화가 시도되어 'GTS Finjet' (1977)이 건조되었다. 배수량형 선형을 갖는 대형여객선의 고속화

개념은 90년대 초중반 일본과 아드리아 해에서 다시 제기되었다. 이것은 경제규모의 확대와 생활수준의 향상에 따른 것으로, 해상운송에서 안락하고 신속한 수송 수요의 급격한 증대 및 선사의 운항 경제성 향상 등이 복합적으로 작용하였다. 현재 세계적으로 고속 대형여객선은 약 50척이 건조되어 운항중이며, 새로운 건조도 지속적으로 이어지고 있어서 주목을 받고 있다.

대형여객선의 선형개발은 고속의 설계속도, 엄격한 복원성능의 요구, 복잡한 부가물 설계 등의 문제를 포함하여, 개발에 세심한 주의가 요구된다.

접수일: 2003년 6월 12일, 승인일: 2003년 8월 4일

†주저자, E-mail: hag-soo.jang@samsung.com

Tel: 055-630-4163

그리고 운항항로 및 항만설비에 따른 선주의 다양한 선형요구와 이에 대한 유사 실적선의 자료부족으로 선형의 최적화 과정이 설계과정에서 필수적이다.

본 논문은 고속 대형여객선의 선형개발에 있어서, 선형 주요 요소의 선정과 여객선의 선형 특성에 대하여 고찰하였고, 여객선의 선형 최적화에 대한 방안으로 저항 및 추진 관점에서 선형 및 각종 부가물의 최적화를 제시하였다. 마지막으로, 당사 실적선의 선형개발 과정을 예로 하여, 고속 대형여객선의 선형설계 시 주의할 점에 대하여도 소개하였다.

2. 고속 대형여객선의 선형개발

일반적으로, 여객선의 개발은 선주의 다양한 요구로 인하여 표준선 개념의 도입이 어렵다. 따라서 선박의 제반성능을 결정하는 주요제원은 초기 선정에서부터 충분한 주의를 기울여 결정해야 한다. 여객선의 선형개발은 결정한 주요제원을 바탕으로 유사 실적선을 조사하고, 주요제원 및 제반성능이 가장 유사한 선형을 선택하여 모선(Parent Ship)으로 선정한다. 모선은 선주의 요구 조건에 맞도록 선형변환이 되며, 선형계수 및 선형특성을 고려하여 초기선형을 개발한다. 한편, 초기 개발선형이 최적의 성능을 갖는다는 보장이 없으므로, 여객선의 선형개발은 CFD 계산 또는 모형시험을 통하여 제반성능을 확인하고, 그 결과에 따라 선형최적화 및 부가물최적화를 수행하여 선형을 최적화할 필요가 있다.

고속 대형여객선의 특성

대형 여객선은 1980년대 제한된 주요제원에 대하여 수송량 증대를 위한 Cb 증가 및 선폭의 확장이 시도되었다. 이러한 경향은 1990년대 초중반 일본 및 아드리아 해에서 선사운항경제성 향상을 위한 대형여객선의 고속화가 제기될 때까지 계속되었다. 그러나 1992년 일본의 Pacific Express호의 건조 이후, Table 1과 같이 대형여객선의 고속화에 따른 L/B의 증가와 B/T의 감소 경향이 현저하게 나타났다. 즉, 1990년대 초반에

Table 1 Hull form characteristics of a large passenger ferry

시 기	1977년	1992년	2003년
L/B	5.2 ~ 5.8	5.0 ~ 5.4	5.6 ~ 7.9
B/T	3.8 ~ 4.2	4.5 ~ 5.0	3.7 ~ 4.6
Cb	0.50	0.55 ~ 0.70	0.49 ~ 0.63
LCB[%]	aftward	4.3~5.0 (aft)	3.0~5.0 (aft)
Vs	30 kts	19 ~ 23 kts	25 ~ 32 kts

길이 150m급 여객선의 선폭이 26~28m, 200m급의 선폭이 29~32m 이었던 것에 비하여, 현재는 150m급이 23~25m, 200m급이 25~26m의 선폭을 갖고 있다. 한편, Cb와 LCB는 여객선의 다양화에 따라 더욱 분포범위가 넓어지게 되었다.

주요제원의 상관특성

본 논문에서는 주요제원의 특성을 파악하기 위하여, 57척의 고속 중대형여객선에 대한 유체역학적인 특징을 조사하였다. 일반적으로 여객선은 전장이 150m 이상일 때를 중형으로, 180m 이상인 경우를 대형여객선으로 분류하고 있다. 본 논문에서 고속의 분류 기준은 Kanerva(1992)의 제안과 유사하게 기존 대형여객선의 속력을 고려하여 25 노트 이상으로 한정하였다.

Fig. 1은 길이 증가에 따른 L/B를 검토한 것으로 길이가 증가하게 되면 L/B가 현저히 커지는 경향을 보인다. 이것은 여객선의 대형화 및 고속화에 따른 저항감소가 주 목적이며, 중형여객선의 경우에는 수송량 증대를 위해 L/B가 다소 작게 나타나는 것을 볼 수 있다. Fig. 2는 길이의 증가에 따라서 재화중량이 증가하는 특성을 보인다. 여기에서 10,000 톤에 육박하는 최대 재화중량을 갖는 최신의 고속 대형여객선은 Panamax 선폭을 갖는 기존의 동급선 대비 선폭을 감소시키고 길이를 10m 정도 증가시켰다. 이것은 빠른 속력과 요구 재화중량을 동시에 달성하기 위하여 L/B를 증가시킨 때문이다.

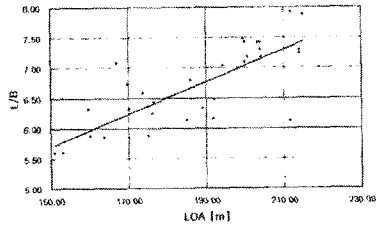


Fig. 1 LOA vs L/B

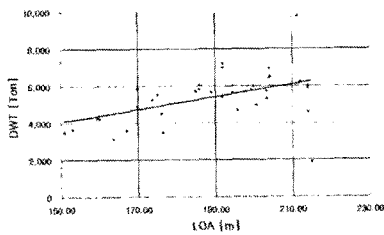


Fig. 2 LOA vs DWT

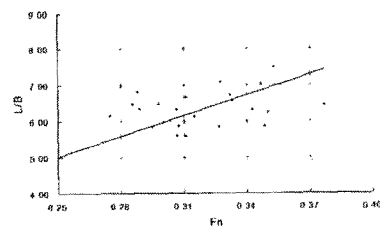


Fig. 3 Fn vs L/B

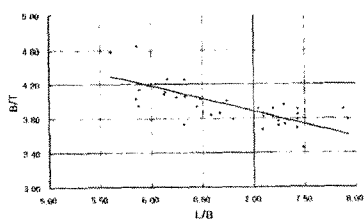


Fig. 4 L/B vs B/T

Fig. 3은 Fn의 증가에 따라 L/B가 증가함을 보이고 있다. 즉, Fn가 높아지면 조파저항이 급격히 증가하는 파정(Hump) 영역이 존재하므로, 이것을 피하기 위하여 선박의 길이를 증가시켜서 선속 증가에 따른 Fn의 증가를 억제하고 있음을 알 수 있다. Fig. 4는 L/B가 증가하면서 B/T가 감소하는 결과를 보인다.

여객선의 주요제원인 길이, 폭 및 흘수는 항만 제약조건, 화물적재량 및 이상과 같은 선형요소의 상관관계를 감안하여 결정되어진다. 그리고 선정된 주요제원을 바탕으로 유사 실적선을 조사하여 모선을 선정한다.

3. 선형계수와 선형특성

여객선 초기선형의 개발은 주어진 모선에 대하여 주요 제원에 대한 선형변환을 수행하고, 선형계수와 선수미 선형특성을 고려하여 수행한다. 그리고 여객선의 경우는 승객의 안전을 위하여 복원력의 요구 수준이 높으므로 초기 선형개발 단계부터 복원성 초기 검토 결과를 고려하는 것이 바람직하다.

선형계수

고속 대형여객선의 선형계수는 각종 도표에서 제시하는 것과는 다소 다른 특성을 보인다. Fig. 5는 Watson의 도표(1988)에 고속 대형여객선의 값을 도시한 결과로 Fn에 대한 Cb값이 통상의 권고치보다 높게 표시되는 것을 알 수 있다.

이것은 고속선박에 대한 용적 변화의 최소화 및 높은 KMt 요구수준에 따른 Cm의 감소에도 불구하고 Cp가 크기 때문에 나타난 결과이다.

Cp는 유체역학적으로는 작은 쪽이 유리하지만, 고속 대형여객선의 경우에는 가능하면 너무 작게 설계하지 않는다. 여객선은 충분히 Cb가 작고 LCB가 선미 쪽에 위치하는 특성을 갖는다. 따라서 Cp를 너무 작게 설계하는 경우에 용적의 변화가 크고 어깨부의 변화가 심하여, 조파저항의 증가가 우려되므로 Cp 값의 선정에 주의가 필요하다.

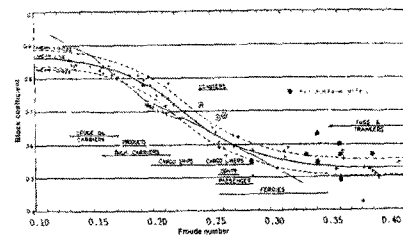


Fig. 5 Fn vs Cb

다. 한편, LCB는 여객선의 하중 특성상 선미 쪽에 위치한다. 일반적으로 고속 대형여객선의 LCB 위치는 배의 중앙부로부터 선미 방향으로 L_{pp} 의 3~5% 거리에 놓인다.

선수선형

여객선의 선수 선형은 선박의 항주에 따른 발산 파에 의한 저항을 최소화시키는 것이 설계의 주안점이다. 일반적으로, 수절각(Entrance Angle, iE)은 크게 하면 조파저항이 증가하며 iE 을 너무 작게 하면 어깨부의 급격한 변화에 기인하여 조파저항이 증가하는 Diamond Effect가 우려된다. 따라서 수선의 형상은 iE 과 어깨부의 부드러운 변화가 적절한 조화를 이루도록 설계되어야 한다. Fig. 6은 F_n 의 변화에 따른 iE 의 최적값을 제안한 Saunders(1957)의 도표이다.

한편, 고속 대형여객선의 벌브형상은 조파저항의 상쇄를 극대화하기 위하여 Goose neck 형상을 도입하는 것이 일반적이다. 이러한 벌브의 길이와 횡면적비는 기존의 차트에 의존하기 보다는 유사 실적선의 분석에 의한 선정이 필요하다. 일반적으로 Kracht(1978)의 방법을 사용하여 고속 여객선의 벌브 크기를 추정하면 12.5% 이상의 벌브 횡면적비가 추정되는데, 이것은 고속 대형여객선이 8~10%의 벌브 횡면적비를 갖는 것과 비교하면 과도한 설계가 될 수 있다. 이러한 현상은 Hamalainen/van Heerd(1998)의 연구결과에서 이미 알려져 있다. 그리고 외곡(Flare)은 슬래밍(Slamming) 현상으로 인한 문제를 최대한 방지하기 위해서 갑판 면적을 가능한 축소하여 감소시킨다.

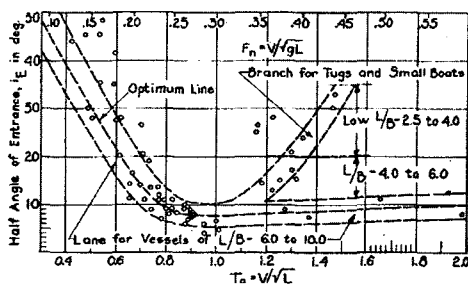


Fig. 6 Entrance angle

또한 여객선은 항구에서 도선의 도움이 없이 스스로 선회가 가능해야 하므로, 선수추진기(Bow Thruster)의 설치는 충분한 모멘트를 가질 수 있도록 설치 위치 및 용량을 추정하며 유동의 흐름에 맞게 설치하여 저항의 증가를 최소화한다.

선미선형

쌍축 추진선인 고속 대형여객선은 선미형상 설계 시 속도달성 및 진동감소의 측면에서 Twin Skeg 형태보다는 Open Shaft 형태를 채택한다. 그리고 선미선형은 추진효율이 높은 대직경 프로펠러의 적용을 위하여 프로펠러 간극의 확보 측면에서 유리한 터널형 선미가 적용되기도 한다. 한편 Bottom Rise Angle(iR)의 결정은 저항 및 자항 성능에 미치는 영향이 크므로 엔진룸 배치 등의 일반배치 특성을 고려하여 상세한 검토가 필요하다. iR 은 고속선의 경우 8~12도의 값을 갖는 것이 일반적이다.

그리고 Center Skeg의 형상은 선미추진기(Stern Thruster) 설치, 건조상의 특성, 선박의 직진안정성과 진수용 반목배치 등을 검토하여 결정한다. 이때, 선체와 Skeg 사이의 연결 방법이 저항 성능과 밀접한 영향이 있으므로, 유동의 원활한 흐름을 위하여 연결부가 부드럽게 변화하도록 설계하여야 한다. Strut은 저항 및 자항 성능에 끼치는 영향이 크므로 단면형상의 결정과 정렬에 유의하여야 한다. Stern Wedge, Stern Flap, Duck Tail 등의 부가물은 속도에 따른 자세제어 및 저항 감소나 자항 성능 향상의 측면에서 검토하여 설계에 반영할 필요가 있다.

복원성 검토

여객선은 승객을 수송하기 때문에 일반 상선에 비해 높은 수준의 안전성이 요구된다. 크루즈선이 SOLAS '90만을 만족하는 것과 다르게, 여객선중 비교적 파고가 높은 북해와 발틱해를 운항하는 Ro-Pax선은 SOLAS '90외에도 복원력 부가규정인 Stockholm Agreement(IMO Circ. 1891)를 만족하기 위해 높은 건현이 요구된다. 이는 1994년 Estonia호가 발틱해를 운항하던 중 화물갑판에 물이 침수되어 전복함으로써 900명 이상의 인명피

해를 입음에 따라 Ro-Pax의 안정성을 높게 하기 위해 만든 규정이다. 일반배치에 기반을 둔 중량과 중심점을 기준으로 까다로운 복원성 요구사항을 만족하도록 GM과 트림 조절을 위해 KMt와 LCB위치 선정에 세심한 주의가 요구된다. 참고로, Ro-Pax선에서는 선미 트림이 있는 경우가 더욱 높은 GM이 요구된다 (김진현 등 2001).

4. 선형최적화

개발된 초기선형은 모선의 성능과는 다소의 차이가 존재할 수 있으므로 선형의 최적화 과정이 필요하다. 따라서 개발된 선형은 CFD 프로그램에 의한 수치모사 또는 모형시험을 통하여 성능을 확인하고, 보다 우수한 성능을 가질 수 있도록 개선된다.

여객선의 선형최적화는 저항 및 자항성능에 대한 최적화의 관점에서 선형 및 부가물최적화가 제시 되어진다. 선형최적화는 초기 개발된 선형에 대한 검증을 수행하여 도출된 문제점 및 개선사항에 대하여 최적화가 시도된다. 이는 벌브 및 선형전반에 걸친 용적 분포, 저항감소 및 자항성능의 개선이 기대되는 방안에 대한 선형의 수정 등이 포함된다. Table 2는 선형최적화의 요소를 설명하고 있다.

한편, 각종 부가물은 설계절차상, 초기설계 단계에서 확정하기 어려운 부분으로, 그 최적화 과정이 더욱 중요시된다. 적절한 최적화가 이루어지지 못한 경우에, 부가물은 자체 저항증가 및 자항성능의 저하를 유발하여 엔진마력의 상승을 초래한다. 그리고 캐비테이션의 악화 및 작업성이 떨어지는 문제 등도 우려된다. 부가물의 최적화는 개발된 선형 및 이에 대한 유동의 흐름을 고려하여 수행되며, Table 3은 부가물최적화 요소를 설명하고 있다(장학수 등, 2001).

5. 고속 대형여객선의 개발 사례

당사는 1997년부터 고속 대형여객선에 대한 시장조사 및 개념설계를 수행하였고, 98년 그리스 Minoan사로부터 3척의 고속 대형여객선을 수주하

Table 2 Optimization of the hull form

항 목	최적화 방안
수선	·계획만재흘수에서의 경사 완화
선수벌브	·벌브후방의 급격한 오목부 완화 ·벌브하부의 용적 감소 및 상부 분포로 유동정체에 의한 저항 감소
Cp 곡선	·부드러운 용적 분포로 Diamond Effect에 기인한 조파저항 증가방지
Center Skeg	·끝단을 날카롭게 하여 압력 변화 완화

Table 3 Optimization of the appendage

항 목	최적화 방안
선수미 추진기	·모형시험 결과를 이용한 위치 및 Grid Angle 결정 ·Scallop의 설치여부 검토
Bossing	·길이 및 Bossing Skeg는 Wake Peak와 긴밀한 관계가 있음
Shaft Strut	·Section Angle과 유동의 입사각 일치로 저항 및 자항성능 향상 ·Cavitation을 고려한 V Strut의 위치 및 단면형상, Rake Angle결정
프로펠러	·추진효율이 우수한 회전방향 결정 (2% 이상의 추진효율 개선)
타	·프로펠러 회전방향과 연관하여 타 초기각 결정 (2%의 P_D 개선)
Ducktail, Wedge/Flap	·선박의 Fn를 고려하여 부가물의 설치여부, 길이 및 각도를 결정
트림 및 침하	·최적의 자세제어로 저항감소 시도 (1% 이내의 저항감소)

여 성공적으로 인도하였다(장학수 등, 2001). 개념설계는 본 논문에서 언급한바와 같이 초기 주요제원을 선정하여 모선을 선정하고, 대상 선형의 선형요소 및 선형특성에 맞는 초기선형을 개발하였다고 초기 개발선형은 선형의 최적화를 위하여, 당사 SSMB의 SPID Code를 이용한 수정이 수행되어졌다. 수정된 선형은 저항시험과 부가물 최적화 시험을 수행하였고, 트림의 변화에 따른 성능 검토를 통한 자세 최적화를 위하여 트림 변화 실험을 수행하였다. 이상의 모형시험에서 최종선형은 초기 개발선형 대비 2% 이상 소요마력이 감소하는 개선 결과를 보였다. 이상과 같이 개선된

선형을 최적선형으로 판단하고, 설계프로펠러에 대한 저항시험 및 캐비테이션 시험, 내항시험 및 조종성능 시뮬레이션 및 풍동시험을 수행하여 최적선형의 성능을 확인하였다.

Fig. 7은 선형개선을 위하여 파형에 대한 CFD Code 계산 결과를 보여준다. 수정된 선형의 파형은 초기 개발선형과 비교하여 좀더 완만해지고 최대값도 낮아서 저항의 감소가 예상된다.

Fig. 8은 모형시험을 통한 초기개발선형과 최적선형의 저항성능을 확인한 결과이다. 최적선형은 초기개발선형과 비교하여 속력 전반에 걸쳐 잉여 저항이 개선된 결과를 보인다.

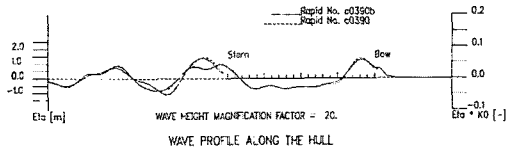


Fig. 7 Improvement of the hull form by CFD

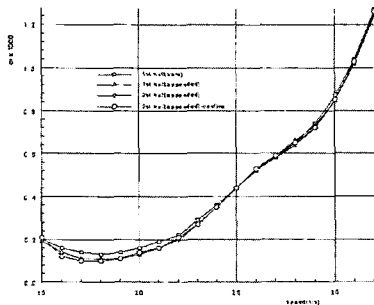


Fig. 8 Improvement of the resistance performance by a model test

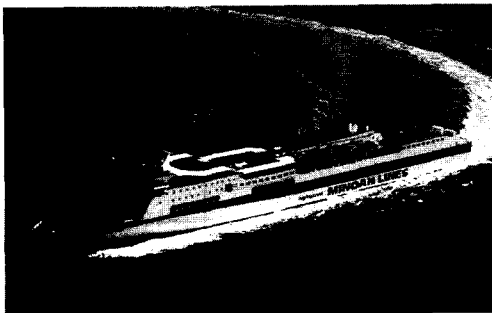


Fig. 9 Operating figure of a large passenger ferry

Table 4 Particulars of a large passenger ferries

선 명	GTS Finjet	Superfast I	Prometheus
LOA [m]	214.9	173.7	211.94
Lpp [m]	200	158	198
B [m]	25.4	24.0	25.0
T [m]	6.5	6.25	6.60
GT [톤]	25,042	23,663	28,000
Vs [knots]	30.0	25.5	30.0
Fn	0.35	0.33	0.35
L/B	7.8	6.6	7.9
B/T	3.9	3.8	3.8
Cb	0.5	0.63	0.55
건조년도	1977	1995	2001

Table 4는 고속 대형여객선과 당사에서 개발하였던 Prometheus호의 주요제원을 보이고 있으며, Fig. 9는 고속 대형여객선 Prometheus호의 운항 모습을 보인다.

고속 대형여객선의 설계상 유의사항

당사에서는 고속 대형여객선의 선형개발을 수행하면서 다음과 같은 주의점이 있음을 알았다.

- 고속 여객선의 경우 Fn가 조파저항이 급격히 증가하는 파정(Hump) 영역에 도달하지 않도록 유의하여야 하며, 선박의 길이를 증가시켜서 Fn를 낮추는 시도도 가능하다.
- 여객선은 우수한 복원성능이 요구되므로, 초기 선형개발 단계부터 이를 고려하여 충분한 KMt를 확보한다.
- Diamond Effect를 피하기 위하여 용적의 급격한 변화를 억제하고 Cp 값을 약간 높게 설계한다.
- 선수벌브는 차트를 이용한 설계와 유사 실적선에 대한 조사를 병행하여 과도한 벌브설계를 방지하여야 한다.
- 프로펠러의 회전방향 - 모형시험을 통한 결정이 일반적이며, 선형 즉 반류의 분포와 프로펠러 회전시의 받음각에 따라 결정된다.

6. 결론

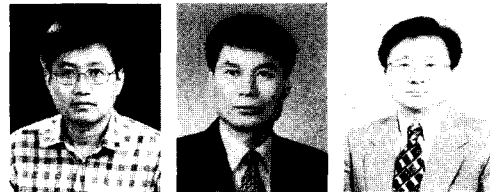
본 논문에서는 최근 각광받고 있는 고속 대형여객선의 선형특성에 대한 유체역학적인 특성을 검토하여 다음과 같은 결론을 구하였다.

- 대형여객선의 고속화는 길이의 증가를 초래하여 L/B가 증가하고 B/T, Cb는 감소하였다.
- Cp는 조파저항의 증가를 억제하기 위하여 일반 상선에 비해 약간 크게 설계하였다.
- 선주의 다양한 요구로 인해서, 선형개발은 유사 실적선으로부터 모선을 선정하여 초기선형을 개발하고, 이에 대한 선형최적화를 수행하는 설계과정이 필수적이다.
- 당사에서 개발한 고속 대형여객선의 선형특성을 제시하였고, 설계상의 유의사항에 대하여 언급하였다.
- 여객선의 선형특성은 일반상선과 달리 많은 고려항목을 가지므로 선형최적화가 좀더 전문적으로 상세하게 검토되어야 한다.

참 고 문 헌

- 김진현, 박성우, 이건호, 장학수, 주영렬 2001, "Ro-Pax선의 손상 복원성에 대한 고찰", 대한조선학회 추계학술대회 논문집
- 장학수, 이건호, 김세은, 김진현, 주영렬 2001, "대형 고속 여객선의 Appendage 최적화", 대한조선학회 추계학술대회 논문집

- 장학수, 김진현, 박성우, 이건호, 안성목, 주영렬 2001, "1000인승 대형 고속 여객선 개발", 대한조선학회 추계학술대회 논문집
- Hamalainen, R. and van Heerd, J. 1998, "Hydrodynamic Development for a Large Fast Monohull Passenger Ferry," Annual Meeting of SNAME
- Kanerva, M. 1992, "Hydrodynamics: Computations, Model Tests and Reality," Ed. by Van den Boom, Elsevier Science Publishers
- Kracht, A.M. 1978, "Design of Bulbous Bows," SNAME Transactions, Vol. 86
- Saunders, H.E. 1957, "Hydrodynamics in Ship Design," SNAME
- Watson, D.G.M. 1988, "Practical Ship Design," Elsevier Science Ltd.



< 장 학 수 > < 주 영 렬 > < 전 호 환 >