

활주형 선박의 선형설계를 위한 통합 CAD/CAE 시스템*

김태윤 · 김동준**†

(주)태화 마린 · ** 부경대학교

Integrated CAD/CAE System for Planing Hull Form Design

Tae-Yun KIM and Dong-Joon KIM**

Taehwa Marine Ltd, ** Pukyong National University

Abstract

In this paper a free-form hull design program and performance prediction program for planing boat is introduced. This program enables the designer to do complex geometric hull shape design on a personal computer and accurately to predict power requirements for a given loading and velocity.

For a free form design, Bezier curve model is adopted as a basic representation tool of curves and surfaces, and this program has versatile functions to do fairing jobs with a convenient graphical user interface. After creating a hull form the geometric data is provided in a manner compatible with a variety of analysis tools including 'Motion Analysis(by Zarnick)' for prediction of motion characteristics in regular waves, 'Running Attitude(by Savitsky)' for prediction of the running attitude and required power.

Key words : free-form hull design(자유형상선형설계), performance prediction(성능해석), planing boat(활주형선), bezier curve(베지어 곡선), motion characteristics in regular waves(규칙파중에서의 운동특성)

서 론

일반적인 배수량형 선박으로는 고속으로 갈수록 저항이 급격하게 늘어나는 한계가 있다. 따라서 고속을 얻기 위해서 기존의 부력을 확보하기 위한 배수량형 개념을 뛰어넘는 새로운 개념의 선박이 필요하게 되었다.

이러한 선형으로 수중익선(Hydro-foil Ship), 표면

효과익선(Surface Effect Ship), 해면효과익선(WIG) 등과 같은 선박 등이 최근 각광을 받고 있으며, 이에 대한 학문적인 연구가 활발하게 이루어지고 있다.

이런 선박들과 함께 연구되던 활주형 선박은 고속화 효율성과 운동성능, 선박의 대형화의 문제들로 인해 앞에 거론된 선박들에 비해 연구가 부진한 경향이 있지만, 어선, 레저용 요트, 소형고속선, 군사용 선박

* 본 논문은 2000년도 부경대학교 발전기금의 지원에 의하여 연구되었음.

†Corresponding author : djkim@mail.pknu.ac.kr

등에서의 의미는 매우 크다고 할 수 있다.

일반적인 배수량형 선박의 경우에 흘수가 정해지면 부력이 결정되어 선박의 하중과 평형을 쉽게 판단할 수 있다. 한편 활주형 선박의 경우는 부력 외에 활주함으로써 발생하는 양력이 선박의 하중과 함께 평형을 이루게 된다. 따라서 활주형 선박의 선형설계에 있어서 어려움은 선체의 형상에 따라 활주상태가 달라지며, 이에 따라 양력이 달라져 원하는 선박의 하중과 평형을 맞추기가 어렵다는 데 있다. 이러한 어려움을 해결하기 위해서는 활주형 선박의 선형 설계 시 항주자세(Running Attitude)를 예측하여 원하는 양력을 얻을 수 있는 지를 검토하고, 또한 Porpoising, Chine Walking 등과 같은 동적 불안정 현상의 발생 가능성도 검토할 수 있는 도구가 반드시 필요하다. 즉, 최적의 선형을 얻기 위한 선형 변경 작업이 가능하게 하기 위해서는 선형이 결정되면 즉시 항주자세를 예측하여 양력을 계산할 수 있고, 하중과의 평형을 평가할 수 있어야만 한다는 것이다. 이러한 점들을 생각할 때 종래의 수작업에 의한 선형 설계의 방법으로는 위의 문제점들을 쉽게 검토할 수 없으며, 수작업을 단순히 CAD화 한 정도로는 활주형 선박의 최적 선형을 얻는 데는 문제가 있다.

국내에서는 일찍이 1960년대부터 활주형 선박에 대한 연구가 있어 왔으나, 1970년대 들어서는 선형설계보다는 운동응답을 구하는 데 연구가 집중되었다^{1,2,3,4)}. 최근 들어서 정성적인 분석을 위하여 일련의 모형실험이 이루어진 바가 있다⁵⁾. 국외에서는 1930년대에 수상비행기의 이착륙문제⁶⁾를 해결하기 위하여 시작된 이후, 주로 활주형 선박의 충격력에 관심을 집중하였으며, 레저용 활주형 선박의 수요가 많은 미국에서는 최근 이와 같은 설계 Package를 만들고자 하는 시도가 있었다⁷⁾.

본 논문과 유사한 연구로는 1995년 Akers⁷⁾의 연구와 1997년 김⁸⁾의 연구가 있다. Akers의 프로그램은 본 논문과 가장 유사한 프로그램이지만, 개인용 PC에서 구동이 어렵고, 선형생성에 있어 한계가 있다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 시도된 김의 프로그램을 보면 선형 생성과 동시에 각종 계산을 수행할 수 없는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 소형선 설계자들과 중·소규모의 조선소에서도 적절한 설계가 이루어질 수 있도록 개인용 전산기에서 구현 가능한 매우 경제적이며, 편리한 통합된 활주형선 설계 Package 프로그램을 개발하였다.

최적선형을 얻는 과정

1. 선형의 생성 및 순정

활주형 선박은 선저를 평판 모양으로 하여 수평면에 대해 어떤 영각(angle of attack)을 가지게 하여 고속이 됨에 따라 발생하는 물의 동압을 이용하여, 선체를 상방으로 들어올려 배의 중량을 거의 물의 동압으로 지지하는 선박을 말한다.

활주형 선박의 종류에는 둥근 바닥형(Round Bottom Type), V형(V Bottom Type), 파형(Wave Type), 역 V형(Reverse V Bottom Type) 등이 있다⁹⁾. 이외에도 여러 개의 차인 라인(Chine Line)을 갖는 선박도 있다.

활주형 선박의 선형에서는 차인 형상이 성능에 매우 큰 영향을 미치므로 CAD를 이용한 선형 설계 과정에서 차인을 중심으로 선형의 특성을 크게 결정된 뒤 곡면들을 생성하고, 이들을 GC1 연속조건(Geometric Continuation Condition)을 이용하여 연결하여 원하는 전체 곡면을 생성하고자 하였다. 본 논문에서는 실적선을 바탕으로 하여 기본적으로 한 개 또는 두 개의 차인라인을 가지는 선박에 대해 5개의 선형을 미리 결정해두었다^{10,11,12,13)}. 기본적인 선형은 Fig.1에 나타나 있다.

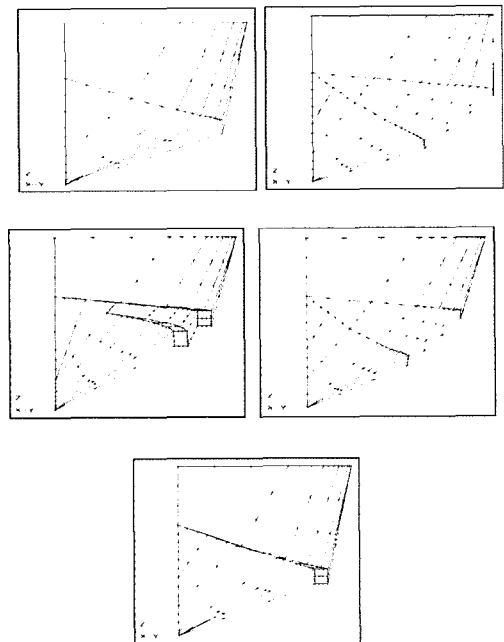


Fig. 1. Given Lines Examples.

이러한 기본 선형에서 하나의 선형을 선택한 뒤 원하는 주요 치수를 갖는 선형으로 변환한다. 주요치수인 길이, 폭, 흘수에 대해 변환 할 수 있다.

대략적인 선형이 얻어지면 여러 방법으로 선형을 순정(Faring)시킨다. 직접 조정점(Vertex)을 선택하여 마우스를 이용하여 움직이거나, 이동 위치를 수치로 입력할 수도 있다. 순정결과를 확인하기위해서 일정 간격의 수선, 버트크션 그리고 스테이션선을 생성시킬 수 있다. 곡면간 연속이 필요한 부분에 대해서는 곡면간의 GC¹ 연속성을 만족하도록 곡면내부 조정점들이 자동으로 움직이도록 구성되어 있다.

그리고 얻어진 선형에 대한 유체역학적 선형 특성치를 계산해낼 수 있으며, 최종적으로 선박의 선도 등도 자동 생성되도록 되어 항주자세예측 및 규칙파중에서의 운동성능을 계산할 수 있도록 되어 있다.

2. 항주자세 예측

항주자세를 예측하기 위해서는 먼저 활주형 선박에 작용하는 압력이나 힘을 모델링해야 한다. 이에 관해서는 다음과 같은 연구들이 있다.

- 가) Savitsky 방법 : 실험결과를 이용하여 수식화한 방법^{14,15)}
- 나) Vorus 방법 : 2-D impact/penetration 방법¹⁶⁾
- 다) USAERO : 상용 프로그램으로 source/doublet 분포법을 이용한 해석 방법¹⁷⁾

Vorus의 방법이나 USAERO와 같이 최신 유체역학적 기법을 이용한 여러 가지 상용 코드들이 있으나, 이들의 경우 항주자세가 주어지면 양력을 계산하도록 되어 있어 항주자세가 결정되지 않은 초기 설계시 사용하기에는 문제가 있다. 반면, 1964년 Savitsky¹⁴⁾의 수조시험 결과로부터 얻어진 실험식을 이용하면, 주어진 트림과 평균 침수거리에 대해 선체에 발생하는 힘과 그 힘의 중심좌표를 얻을 수 있다. 이와 같은 Savitsky의 방법은 다른 방법들에 비해 선형에 대한 간단한 기하학적 표현을 요구하므로, 사용하기 쉬운 반면에 제한된 영역에서만 사용 가능하다.

따라서 초기 설계에 사용하고자 하는 본 프로그램에서는 선형 CAD 시스템으로부터 필요한 데이터를 받아 Savitsky 실험식을 이용하여 항주자세를 예측하였다. 주어진 트림과 평균 침수거리에서 선체에 걸리는 힘과 모멘트가 평형을 이룰 때까지 트림과 평균 수선길이를 바꾸면서 반복 계산함으로써 항주자세를 예측한다.

아울러 Porpoising의 발생여부도 Fig. 2를 이용하여 판단하게 된다.

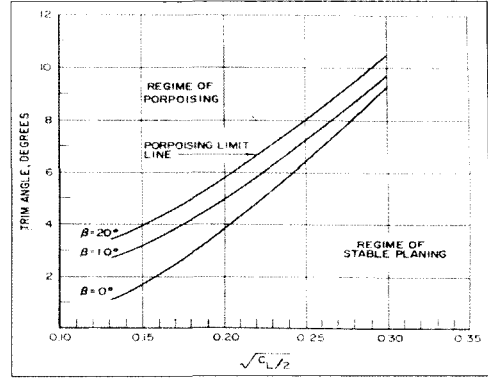


Fig. 2. Porpoising Limits for Prismatic Planing Hulls.

3. 규칙파중에서의 운동 추정

Zarnick¹⁸⁾은 일정 선저경사를 갖는 활주형 선박이 규칙파중에서 일정 속도로 전진할 때의 운동응답을 구하기 위하여 수정된 Low-Aspect-Ratio 또는 스트립이론을 이용하여 비선형 수학적 모델을 발표한 바가 있다. 파장에 비해 선박의 길이와 파 경사가 작다고 가정하고, 운동 방정식의 계수들은 이론과 실험식에 의해 결정하였다.

본 연구에서는 Zarnick의 결과를 이용하여 일정 시간 경과 후 운동 응답을 구하였다.

프로그램의 구성

GUI(Graphic User Interface)를 구현하여 사용자가 단시간에 최적의 활주형 선박을 설계할 수 있도록 하였다. 연구 목적이 단시간에 최적의 활주형 선형을 얻고, 그 선형에 대한 유체역학적인 특성을 파악하는 것이므로, 모든 선형설계과정이 대화창으로 정보를 주고받을 수 있도록 하여 사용자에게 편의를 제공하였다. 선형을 표현함에 있어서 자유곡면 형상은 베지에(Bezier) 곡선 모델과 곡면 모델을 사용하여 모델링하였다^{19,20)}. 본 프로그램의 내용은 다음과 같다.

- (1) 이미 입력되어 있는 활주선형의 대표적인 유형들 중에서 자신이 설계할 선박과 유사한 선형을 선택한다. 이 선형은 미리 입력되어 있는 조절점들로 이루어진 곡면으로 구성되어 있다.
- (2) 선택된 선형에 자신이 원하는 L, B, d를 입력하여 대략적으로 선형을 변환시킨다.
- (3) 마우스와 키보드를 이용, 자신이 원하는 선형으로 수정을 한다.

(4) 부드러운 곡선을 얻기 위해 순정작업을 거쳐 완전한 선형을 얻는다.

(5) 얻어진 선형으로부터 Porpoising Stability와 유효마력 및 선박의 운동을 추정하기 위해 기본정보를 얻는다.

(6) Savitsky의 경험식을 바탕으로 한 Porpoising Stability의 여부 및 유효마력을 계산한다.

(7) Zarnick의 프로그램을 이용하여 규칙과 중에서의 선박운동을 계산한다.

(8) 선박의 선도와 EHP 곡선 및 각종 선박운동에 관련된 그림을 얻는다.

프로그램은 Visual C++를 이용하여 작성되었으며, GUI 프로그래밍의 대부분은 MFC를 사용하였다. 대화창 형식과 간단한 키보드 조작 및 마우스 드래깅으로 작업을 할 수 있으며, 러버밴딩(Rubber Banding) 기능의 추가로 곡선 및 곡면의 수정 시에 변화되고 있는 형상을 실시간으로 보여줌으로써 사용자의 판단에 도움을 줄 수 있는 기능 등이 있다. 좌표계(x, y, z)는 선체중앙부 바닥을 기준 좌표점으로 하고, 선수 방향을 +x, 좌현을 +y, 수직 상방향을 +z, 정의한다.

1. 프로그램 Flow Chart

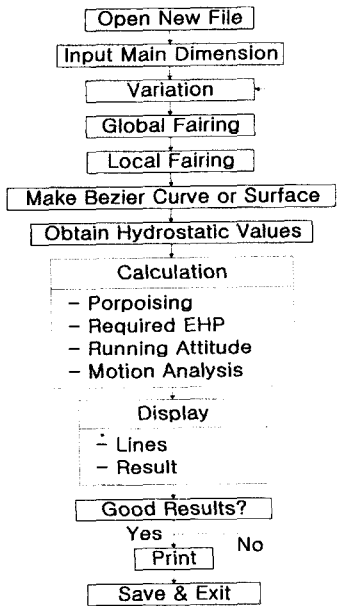


Fig. 3. Program Flow Chart.

2. 프로그램 수행 예

1) 프로그램의 전 화면

Fig. 4에서 원 내부의 검은 점을 마우스로 짚어서 이동하면서, 나뉜 4개의 뷰(View)중에서 자신이 확대해서 보고자하는 뷰만을 골라서 볼 수 있다. 각각의 뷰창 왼쪽 하단 부분에는 좌표축을 표시해서 작업 시 도움을 주고 있다. 또한 뷰창들 중 오른쪽 아래의 것은 Isoparametric 좌표계를 사용하여 3-D 개념으로 설계 작업을 가능하도록 하였다.

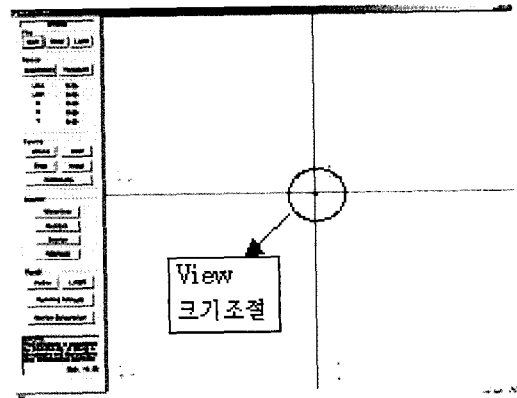


Fig. 4. Program entire view.

2) 선형생성 및 순정

미리 프로그램의 형식에 맞게 저장되어 있는 여러 종류의 Planing Hull Data File이나 이전에 작업하던 것을 불러 오고 저장할 수 있다. 불러온 데이터에 기본적으로 들어가 있는 Main Dimension의 확인 및 Variation 후의 변경된 Main Dimension을 확인할 수 있다(Fig. 5) (Fig.6).

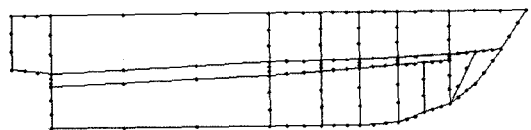


Fig. 5. Example of Continuity.

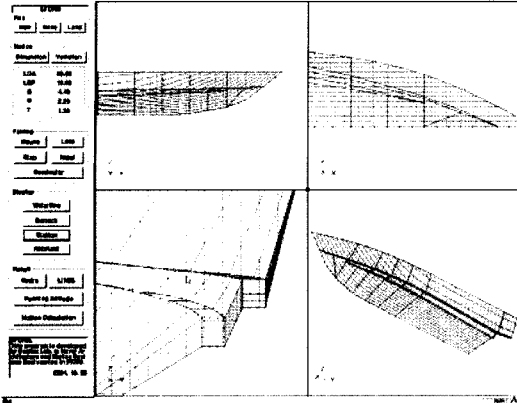


Fig. 6. Waterline, Buttock and Station Line Display.

작업 중이던 선형에 대해 Hydrostatic을 보여준다 (Fig. 7) (Fig. 8).

Hydro Result		
LBP	9.50	M
BREADTH	4.40	M
DRAFT	1.30	M
DEPTH	2.20	M
DISPLACEMENT	20.10	TON
VOLUME	19.99	M ³
Cb	0.3390	
LCB From Mid.	5.36	M
KB	0.83	M

Fig. 7. View of Hydrostatic.

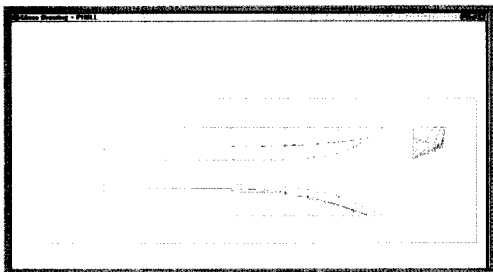


Fig. 8. Lines Display.

3) Running Attitude : Savitsky의 경험식을 바탕으로 한 항주 자세의 계산을 수행 (Fig. 9)

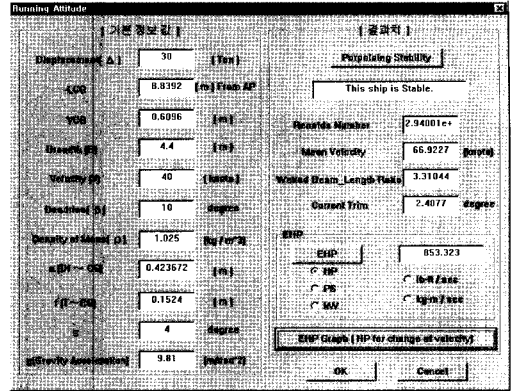


Fig. 9. Running Attitude.

- EHP : 요구되는 EHP를 각 단위별로 계산할수 있다. HP(Horse Power)를 Default로 한다. (Fig. 10).

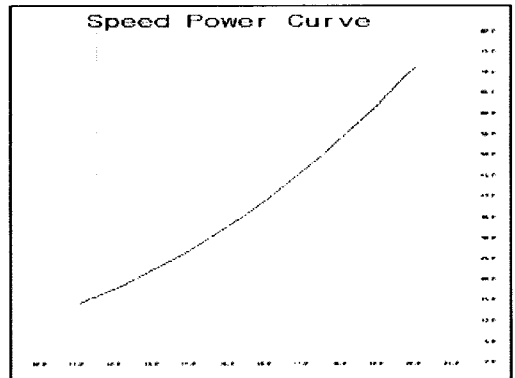


Fig. 10. Speed Power Curve.

4) Motion Calculation : Zarnick의 프로그램을 바탕으로 하여 선박의 운동성능을 계산 (Fig. 11).

Input/Output Calculation : 이 버튼을 누르면 Zarnick의 프로그램과 연결되어 Input/Output Data가 생성된다.

Heave 운동, Pitch 운동을 시간에 대해 보여준다 (Fig. 12). 여기서, 가로축 한 칸은 0.1초이고, 세로축 한 칸은 1meter이다. CG에서의 가속도와 선수에서의 가속도를 시간에 대해 보여준다. 가로축 한 칸은 0.1초, 세로축 한 칸은 1m/s이다.

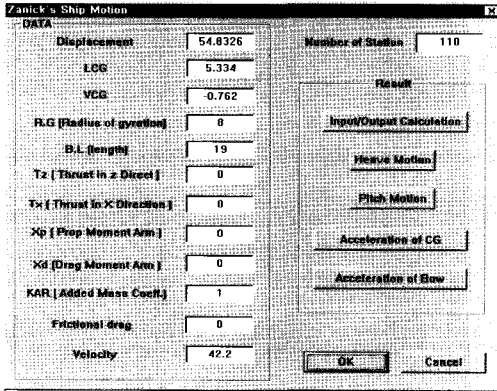


Fig. 11. Motion Calculation.

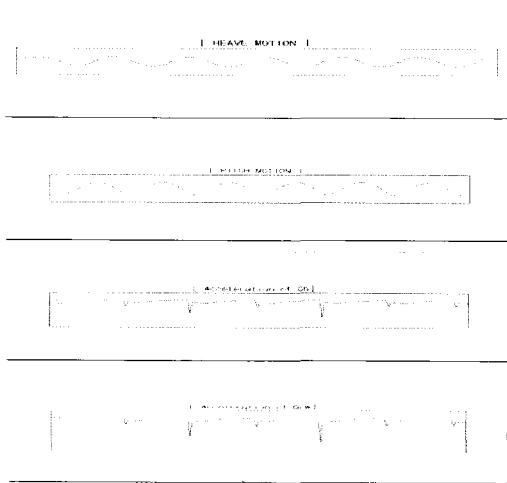


Fig. 12. View of Heave and Pitch Motion.

결 론

본 논문에서는 기존의 활주형 선박의 선형을 이루는 조정점(Control Vertex)들을 생성하여, 선형의 데이터 포맷을 조정점들만으로 새로이 만들어 작업의 단순화 및 시간의 단축을 꾀하였다. 또한 선형 생성 후 바로 항주자세(Running Attitude) 및 운동성능해석이 가능하게 하여 설계하고 있던 선형의 좋고 나쁨을 바로 알 수 있으며, 또한 나쁜 선형이라 판단될 경우 반복작업이 용이하게 하였다.

김⁸⁾의 프로그램과 본 논문의 프로그램을 비교한다면, 먼저 김⁸⁾의 프로그램의 경우 선형의 생성에

있어 데이터 좌표를 화면상 생성하여 점, 곡선, 곡면 순으로 선형을 생성한다는 것이다. 또한, 현재 인터넷에서 접할 수 있는 활주형 선박에 대한 설계 프로그램들을 살펴보면, 미리 만들어진 선형에서 단순히 운동성능해석만이 가능한 것이거나, 혹은 선형만을 생성하고 유체역학적인 성능 검토 기능은 제공되지 않는 것이 대부분이다.

일반적으로 활주형 선박의 선형설계는 경험적인 방법이나 모형시험에 의한 방법에 의존하고 있으며, 국내에서는 이 분야에 대한 경험이 많지 않은 편이다. 본 연구에 의한 프로그램을 활용함으로써 단시간 내에 최적의 활주형 선박의 선형 설계가 가능하다. 따라서 요즘 많은 관심을 받고 있는 레저용 선박에 대한 수요를 국내의 조선소에서 흡수하기 위한 대책을 마련할 수 있을 뿐더러, 최근 어려움을 겪고 있는 중소형 조선소의 설계능력 향상에 도움을 줄 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- 1) 박선영·최상혁(1965) : Planing Hull 의 선형선택에 따르는 유체역학적(流體力學的) 고찰, 대한조선학회지 2(1), 9-15.
- 2) 황중홀·이기표(1980) : 활주형 고속정의 횡파중에서의 순항시의 운동성능 계산 프로그램의 개발, 대한조선학회지 17(4), 39-45.
- 3) Lee, Seung Hee, Kim, Hyo Chul, and Kim, Gyeong Hwan(1996) : Effect of Air Injections on the Resistance Reduction of a Semi-Planing Hull, Journal of Hydrospace Technology 2(2), 44-56.
- 4) 이승희·이영길·홍성환·박용제(1997) : 반활주선의 유동 및 저항특성 해석, 대한조선학회 1997년도 추계학술대회 논문집, 199-207.
- 5) 이창용·이춘주(2003) : 새로운 시험기법을 이용한 활주형 선형 시험 방법 소개, 대한조선학회 2003년도 춘계학술대회 논문집, 94-97.
- 6) Von Karman, T. : The Impact of Seaplane Floats During Landing, NACA TN 321, Washington, D.C., October.
- 7) Akers, Richard H.(1995) : CAD/CAE Tools for Planing Hull Design And Hull Performance Validation, Department of Naval Architecture and Marine Engineering, The University of Michigan.

- 8) 김형민(1997) : GUI를 이용한 Planing Hull 설계 프로그램 개발, 부경대학교 석사학위논문.
- 9) 대한조선학회 : 조선해양공학개론, 87-90.
- 10) 이근무(1994) : Chine Line이 있는 소형어선의 유효마력 추정법 및 최소저항을 갖는 선형 요소들의 최적화에 관한 연구, 한국어업기술학회지 30(4).
- 11) 제병렬 외(1999) : 고속정의 선형 특성에 관한 연구, 대한조선학회 1999년도 학술대회논문집, 125-132.
- 12) 이귀주 외(1998) : 총톤수 100톤급 활주형 선의 저항성능 개선에 관한 연구, 대한조선학회 1998년도 학술대회논문집, 61-66.
- 13) 선의 과학.
- 14) Savitsky, Daniel(1964) : Hydrodynamic Design of Planing Hulls, Marine Technology.
- 15) Savitsky, Daniel(1992) : Overview of Planing Hull Developments, HPMV '92 Proceeding, Washington, D. C.
- 16) Vorus, W. S.(1996) : A Flat Cylinder Theory for Vessel Impact and Steady Planing Resistance, Journal of ship research 40(2).
- 17) Maskew, B.(1987) : USAERO, A Time-Stepping Analysis Method for the Flow about Multiple Boadies in General Motions, Users' Manual, Analytical Method, Incl, Redmond, WA.
- 18) Zarnick, Ernest E.(1978) : A Nonlinear Mathematical Model of Motions of A planing boat in regular waves, DTNSRDC-78/032.
- 19) Choi, Byoung K.(1991) : Surface Modeling for CAD/CAM", Korea Advanced Institute of Science and Technology.
- 20) Rogers, David F.(1990) : Mathematical Elements for Computer Graphics, McGraw-Hill Publishing Company.

2003년 9월 29일 접수

2003년 10월 7일 수리