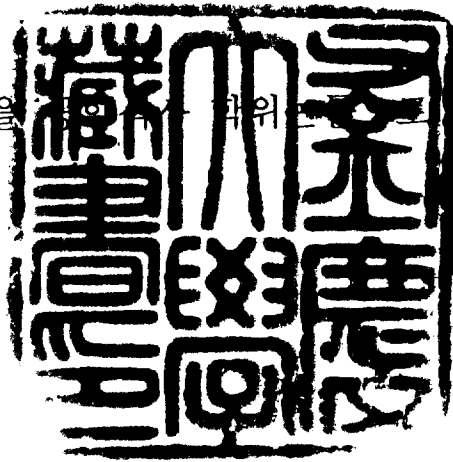


공학석사 학위논문

활주형 선박의 선형설계를 위한 통합 CAD/CAE 시스템 개발

지도교수 김 동 준

이 논문을 지도교수 김 동 준의 제출함



2002년 2월

부경대학교 대학원

조선해양시스템공학과

김 태 운

김 태 윤의 공학석사 학위논문을 인준함

2001년 12월

주 심 공학박사 김 인 철



위 원 공학박사 김 용 직



위 원 공학박사 김 동 준



대학원장 이학박사 양 용 립 (印)

Integrated CAD/CAE System for Planing Hull Form Design

Dept. of Naval Architecture & Marine Systems Engineering **Tae-Yun Kim**

Directed by Professor **Dong-Joon Kim**

It is very difficult for naval architects designing high speed planing hulls to design complex hull surfaces and to predict the power required to drive a planing hull. In case of geometric hull design, it is very hard to describe a complex three-dimensional shape as a set of two-dimensional drawings. The analysis of hull performance is difficult because the forces on the hull are non-linear functions of the running attitude of a given vessel. Furthermore some hull performance analysis tools can predict hull pressure or forces for a given draft and trim, but can not predict the draft and trim for a given loading and velocity.

In this paper a free-form hull design program and performance prediction program for planing fishing boats 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.

[목 차]

I. 서론

1. 연구 배경	1
2. 연구 내용	2

II. 본론

1. 활주형 선박	4
2. 곡선이론	6
3. 곡면이론	12
4. 항주자세 예측	16
5. 선박의 운동 추정	21
6. 선형모델링 프로그램개발	25
7. 프로그램 구성	28

III. 결론

IV. 참고문헌

I. 서론

1. 연구배경

일반적인 배수량형 선박으로는 고속으로 갈수록 저항이 급격하게 늘어나는 한계가 있기 때문에 선박이 고속을 얻기 위해서 기존의 부력을 확보하기 위한 배수량형 개념을 뛰어넘는 새로운 개념의 선박이 필요하게 되었다. 따라서 최근에는 수중익선(Hydro-foil Ship), 표면효과익선(Surface Effect Ship), 해면효과익선(WIG) 등과 같은 선박에 대한 학문적인 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 이런 선박들과 함께 고속선으로 연구되던 활주형 선박은 고속화 효율성과 운동성능, 선박의 대형화의 문제들에 있어 위의 선박에 비해 많은 단점이 있지만, 어선, 레저용 요트, 소형고속선, 군사용 선박 등으로 활주형 선박의 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 설계시 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 기능과 파랑 중 선박의 운동을 추정(Motion Analysis)할 수 있는 기능을 모두 가지는 도구가 반드시 필요하다. 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.

활주형 선박에 대한 연구동향을 살펴보면, 대부분의 연구가 활주 선형에 대한 모형선의 저항 및 그 선형에 대한 성능분석 등이 주류를 이루고 있으며, 본 논문과 유사한 연구로

는 1995년 Akers의 연구와 1997년 김의 연구가 있다. 하지만 김의 프로그램을 보면 선형 생성과 동시에 각종 계산을 수행할 수 없는 단점이 있다. Akers의 프로그램은 본 논문과 가장 유사한 프로그램이다. 하지만, 개인용 PC에서 구동이 어렵고, 선형생성에 있어 한계가 있다. 따라서 본 논문에서는 소형선 설계자들과 중·소규모의 조선소에서도 적절한 설계가 이루어질 수 있도록 개인용 전산기에서 구현 가능한 매우 경제적이며, 프로그램을 모르는 초보자들이라도 설계 작업을 수행함에 있어 편리한 활주형 선박 설계 시스템을 개발을 위해 Akers의 프로그램의 기능을 모두 구현할 수 있고, 단점을 보완할 수 있는 통합된 설계 Package 프로그램을 개발하였다. [1][2][14]

2. 연구 내용

프로그램은 Visual C++언어를 사용하였으며, GUI(Graphic User Interface)를 구현하여 사용자가 단시간에 최적의 활주형 선박을 설계할 수 있도록 하였다. 선형을 표현함에 있어서 자유곡면 형상은 베지에(Bezier) 곡선 모델과 베지에 곡면 모델을 사용하여 모델링하였다.

연구의 목적이 단시간에 최적의 활주형 선형을 얻고, 그 선형에 대한 유체역학적인 특성을 파악하는 것이므로, 모든 선형설계과정이 대화창으로 정보를 주고받을 수 있도록 하여 사용자에게 편의를 제공하였다.

본 프로그램의 내용은 다음과 같다.

- (1) 이미 입력되어 있는 활주선형의 대표적인 유형들 중에서 자신이 설계할 선박과 유사한 선형을 선택한다. 이 선형은 미리 입력되어 있는 Control Vertex(조절점)들로 이루어진 곡면으로 구성되어 있다.
- (2) 선택된 선형에 자신이 원하는 L, B, d를 입력하여 대략적으로 선형을 변화(Variation)시킨다.
- (3) 마우스와 키보드를 이용, 자신이 원하는 선형으로 변형 및 순정작업(Faring)을 한다.
- (4) 부드러운 곡선을 얻기 위해 순정작업을 한 뒤 완전한 선형을 얻는다.
- (4) 얻어진 선형으로부터 Porpoising Stability와 유효마력(EHP) 및 선박의 운동을 추정하기 위해 기본정보(Hydrostatics)를 얻는다.
- (5) Savitsky의 경험식을 바탕으로 한 Porpoising Stability의 여부 및 유효마력을 계산한다.
- (6) Zarnick의 Program을 이용하여 규칙파 중에서의 선박운동을 계산한다.
- (7) 기본적인 선형특성 파악을 위해 작업 중인 선박의 Lines와 Speed Power Curve 및 각종 선박운동에 관련된 그래프를 표현할 수 있다.

프로그램 전체에 걸쳐 대화창 형식과 간단한 키보드 조작 및 마우스 드래깅으로 작업을 할 수 있으며, Rubber Banding 기능의 추가로 곡선 및 곡면의 수정 시에 변화되고 있는 형상을 실시간으로 보여줌으로써 사용자의 판단에 도움을 줄 수 있는 기능 등을 추가했다.

II. 본론

1. 활주형 선박

1.1 정의

활주형 선박은 선저를 평판 모양으로 하여 수평면에 대해 어떤 영각(迎角)을 가지게 하여 고속이 됨에 따라 발생하는 물의 동압을 이용하여, 선체를 상방으로 들어올려 배의 중량을 거의 물의 동압으로 지지하는 선박을 말한다. 침수표면적도 정지 때의 20% 정도로 되어 마찰저항과 조파저항이 적어져서 고속을 낼 수가 있다. 이런 상태를 수면활주(Planing, Skimming)라 한다. 따라서 이런 선형의 선박은 선체가 가볍고 기관이 고출력인 고속정에 적합하다. 활주 상태는 Froude 수 $F_n = 0.6 \sim 0.9$ 이상에서 발생하고, 저항곡선의 증가율은 급격히 저하하여 고속에 대한 소요 동력은 비교적 적어도 된다.

선저의 활주면을 앞뒤 2면으로 만들면 주행 중에 있어서 배의 세로방향의 안정성이 좋아질 뿐만 아니라 양력도 증대하므로 선저에 단(段 : Step)을 붙여 만드는 수가 많다.[3]

활주선의 원리는 약 90년 전에 인식되었다. 그 당시에 ‘겹썰기식 선형’(Polysphenic Ship)이 C. M. Ramus에 의해 제안되었고, W. Froude가 1872에 토오키이(Torquay)수조에서 시험한 최초의 모형선 중의 하나가 그러한 선형이었다. 그것은 그 자체를 물로부터 떠오르게 하여 저항을 최소로 줄이려는 썰기형이었다. 이 배는 바닥에 2개의 불연속선, 즉, ‘단’이 있었고, 둥근 선미를 가지고 있었다.[4]

현재의 고속 모터 보우트는 거의 이와 같이 단이 없이 1930년경부터 지금에 이르렀으며, 그 동안의 발전은 주로 현대 동력 장치의 출력-중량 비의 개량으로 이룩되었다.

‘단’은 선저를 가로지르는 날카로운 불연속선이면, 정면도와 평면도에서는 직선 또는 V자형으로 나타난다. 이와 같은 단을 붙이는 것은, 그러한 배가 그 단과 트랜섬의 바로 앞부분의 작은 면적에 걸쳐 물과 접촉하면서 활주하게 되리라고 생각하기 때문이다. 그와 같이 하면, 전체 침수 표면적이 60% 이상 감소되지만, 그 선형이 대단히 복잡해지기 때문에 경주용이 아닌 배에서는 대개 단이 없는 선형을 채택하고 있다.[4]

1.2 활주형 선박의 단면형상

활주형 선박의 종류에는 둥근 바닥형(Round Bottom Type), V형(V Bottom Type), 파형(Wave Type), 역 V형(Reverse V Bottom Type) 등이 있다. [3]

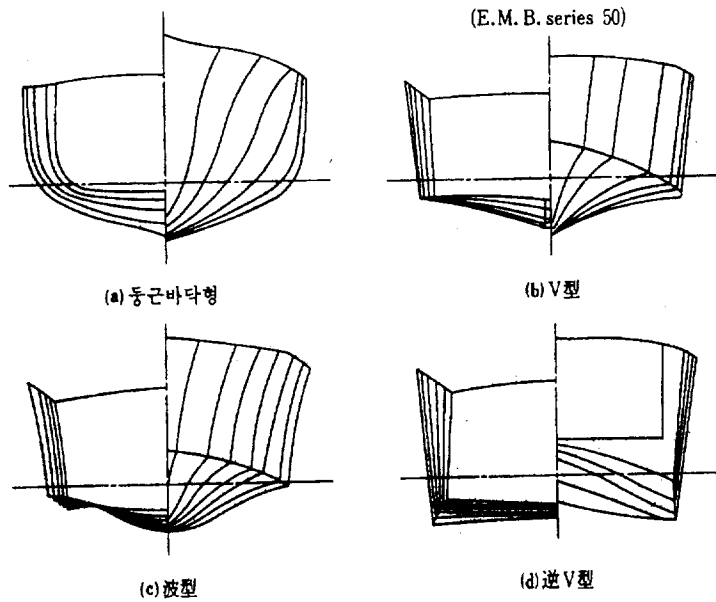


Fig. 1 Types of Planing Hull

이외에도 수 개의 차인 라인을 갖는 선박도 있으며, 본 논문에서는 실적선을 바탕으로 하여 기본이 될 선형을 일단 5개 정도로 두고 있다.

2. 곡선이론

활주형 선형은 차인(Chine)이라는 너클(Knuckle)부분이 있어 곡선과 곡면이 나뉘어지는 기하학적 특성이 있다. 그러므로 설계 곡선의 모델은 곡선 세그먼트(Segment)개념이 강한 모델이 되어야 한다. 따라서, NUB(Non Uniform B-spline)나 균일(Uniform) B-Spline 보다는 곡선 세그먼트개념이 강한 베지에 곡선 모델이 더 효율적이며 정확한 설계에 더 적합하다. 따라서 본 논문에서는 베지에 곡선의 수학적식을 도입하여 프로그램화하였다. [2][5]

2.1 곡선 기하학

공간 곡선은 3차원 Cartesian 좌표계에서 다음과 같이 표현된다.

$$\mathbf{r}(t) = (x(t), y(t), z(t))$$

매개변수 범위를 지정함으로써 곡선을 쉽게 정의할 수 있다.

이러한 곡선은 다음과 같은 특성을 가지고 있다.[2][5][6][7]

1) 단위 접선 벡터

단위 접선 벡터와 곡률은 곡선의 가장 중요한 성질이다. s 를 곡선 $\mathbf{r}(t)$ 의 매개변수라 하자. 즉,

$$s = \int_0^s |\dot{\mathbf{r}}(t)| dt$$

그러면, 곡선 $\mathbf{r}(t)$ 의 단위 탄젠트 벡터의 표현은

$$\mathbf{T} = d\mathbf{r} / ds$$

미분연쇄법칙을 적용하면, 단위 탄젠트벡터의 표현은

$$\mathbf{T} = \dot{\mathbf{r}}(t) / |\dot{\mathbf{r}}(t)|$$

로 얻는다.

2) 곡선의 곡률

s 와 $\mathbf{T}$ 를 각각 Natural 매개변수와 곡 $\mathbf{r}(t)$ 의 단위 탄젠트벡터라 하자. 곡선의 곡

률은 $\kappa = |dT/ds|$ 으로 표현되며

곡률반경은

$$\kappa = \frac{|\dot{r} \times \ddot{r}|}{|\dot{r}|^3}$$

으로 정의된다.

3) 법선 벡터

곡선의 법선벡터는 t 에 대한 단위 탄젠트벡터 T 의 미분으로 얻을 수 있다.

즉,

$$N = \frac{dT/dt}{|dT/dt|} \equiv \frac{dT/ds}{|dT/ds|}$$

T 가 단위 벡터이므로 N 는 T 에 수직이다.

2.2 퍼그슨(Ferguson) 곡선 모델

퍼그슨(1964년)은 2개의 끝점 P_0 와 P_1 을 연결시키고 탄젠트 t_0 와 t_1 을 지정해 곡선 세그먼트를 만들었다.[2][5][6][7]

$$a = P_0; \quad b = t_0; \quad c = -3P_0 + 3P_1 - 2t_0 - t_1;$$

$$d = 2P_0 - 2P_1 + t_0 + t_1$$

위의 해는 매트릭스 형태로 표현되는데,

$$A \equiv \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -3 & 3 & -2 & -1 \\ -3 & 3 & -2 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_0 \\ P_1 \\ t_0 \\ t_1 \end{bmatrix} \equiv CS$$

곡선 세그먼트 $r(u)$ 는 P_0, P_1, t_0, t_1 등의 끝점 조건의 항으로 표현된다.

$$r(u) = UA = UCS \quad \text{with } 0 \leq u \leq 1$$

$$\text{where,} \quad C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -3 & 3 & -2 & -1 \\ 2 & -2 & 1 & 1 \end{bmatrix}; \quad S = \begin{bmatrix} P_0 \\ P_1 \\ t_0 \\ t_1 \end{bmatrix}$$

위 곡선을 퍼그슨 곡선이라 부른다. 그러나 실제적인 응용부분에서는 끝점 탄젠트의 크기를 지정하기가 쉽지 않다. 그렇기 때문에 대개 끝점 탄젠트 벡터의 크기를 Chord-Length로 두는 것이 일반적이다.

2.3 베지에 곡선 모델

베지에 곡선을 정의하는 많은 방법이 있다. 그 중에서 퍼그슨 곡선식로부터 3차 베지에 곡선을 얻을 수 있다. 퍼그슨 곡선에서의 End 조건 P_0, P_1, t_0, t_1 을 가져와 다음의 조건을 만족시키는 4개의 Point V_0, V_1, V_2, V_3 을 얻는다.[2][5][6][7]

- a) V_0 : 곡선 세그먼트의 시작점, P_0
- b) V_1 : 시작점에서 탄젠트 벡터의 $1/3$, ie $(V_0 + t_0/3)$
- c) V_2 : 끝점에서 탄젠트 벡터의 $2/3$, ie $(V_3 - t_1/3)$
- d) V_3 : 곡선 세그먼트의 끝점, P_1

위의 베지에 포인트 V_i 의 끝점 조건은 다음과 같이 표현된다.

$$V_0 = P_0 ; \quad V_1 = (V_0 + \frac{t_0}{3}) ; \quad V_2 = (V_3 - \frac{t_1}{3}) ; \quad V_3 = P_1$$

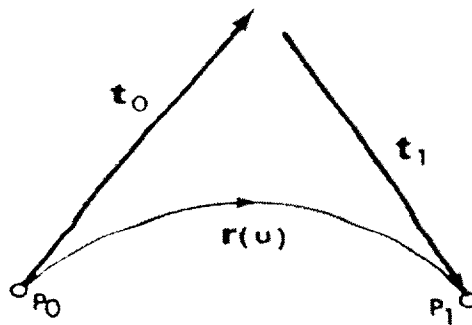


Fig. 2 Construction of a Ferguson Curve Segment

이 관계를 매트릭스 형태로 표현하면

$$S \equiv \begin{bmatrix} P_0 \\ P_1 \\ t_0 \\ t_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -3 & 3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -3 & 3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{bmatrix} \equiv L R$$

마지막으로 위의 결과를 퍼그슨 곡선식으로 가져오면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} r(u) &= U C S \\ &= U C (L R) \\ &= U (C L) R = U M R \quad \text{with } 0 \leq u \leq 1, \end{aligned}$$

$$\text{where } M = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ -3 & 3 & 0 & 0 \\ 3 & -6 & 3 & 0 \\ -1 & 3 & -3 & 1 \end{bmatrix} ; \quad R = \begin{bmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{bmatrix}$$

Bezier(1972)에 개발된 이 곡선식을 3차 베지에 곡선식이라 한다.

또 다른 형태인 Polynomial 곡선식으로 바꾸면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} r(u) &= (U M) R \\ &= B_0^3(u) V_0 + B_1^3(u) V_1 + B_2^3(u) V_2 + B_3^3(u) V_3 \\ &= \sum_{i=0}^3 B_i^3(u) V_i, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{where } B_0^3(u) &= (1-u)^3, \\ B_1^3(u) &= 3u(1-u)^2, \\ B_2^3(u) &= 3u^2(1-u), \\ B_3^3(u) &= u^3 \end{aligned}$$

$\sum_{i=0}^3 B_i^3(u)$ 을 Berstein Polynomials 또는 Bernstein Blending Functions이라 한다.

Degree n의 일반적인 다항식 형태는

$$B_i^n(u) = \frac{n!}{(n-i)! i!} u^i (1-u)^{n-i}$$

으로 표현된다.

$$r(u) = \sum_{i=0}^n B_i^n(u) V_i \quad \text{with } 0 \leq u \leq 1$$

$$\mathbf{r}(0) = V_0,$$

$$\mathbf{r}(1) = V_1,$$

$$\mathbf{r}'(0) = n(V_1 - V_0),$$

$$\mathbf{r}'(1) = n(V_n - V_{n-1})$$

베지에 곡선은 베지에 Basis Form를 매트릭스형태로 전환시키는 것은 항상 가능하며, 베지에 표현의 주요 장점은 조절 버텍스(Control Verties)를 움직임으로써 곡선의 형상을 수정할 수 있는 기능이 있다는 것이다. 또한 베지에 곡선은 조절 버텍스에 의해 형성된 볼록한 다각형안에 정의된다. 이러한 성질을 Convex Hull Property라 한다.

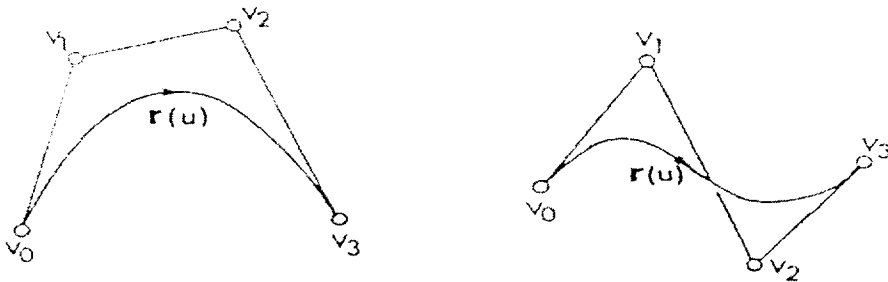


Fig. 3 Cubic Bezier Curve Examples

2.4 베지에 곡선 모델 특성

- 1) 생성되는 곡선은 다각형의 시작점과 끝점을 반드시 통과하여야 한다.
- 2) 다각형의 첫째 선분은 시작점에서의 접선 벡터와 같은 방향이고, 마지막 선분은 끝점에서의 접선벡터와 같은 방향이어야 한다.
- 3) 주어진 조정점에 의해 정의된 베지에 곡선은 항상 그 조정점들에 의해 결정되는 다각형 안에 존재한다.
- 4) 양 끝점에서의 1차 미분이 두 개의 꼭지점에 의해 결정되는 성질의 확장으로서 시작점이나 끝점에서의 n번 미분값은 그 점을 포함하여 인접한 (n+1)개의 꼭지점에 의해 결정된다. 이 성질은 두 개의 서로 다른 곡선을 접속시킬 때, 연결점에서 임의의 미분까지 연속을 보장하는데 이용된다. [2][5][6][7]

2.5 베지에 곡선간의 접속

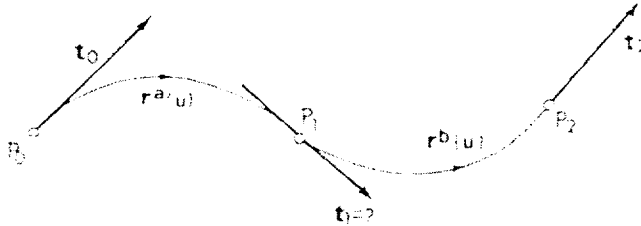


Fig. 4 Parametric Continuity at the Common Join

$u \in [0, 1]$ 인 두 곡선 세그먼트 $r^a(u)$ 과 $r^b(u)$ 이 있다면, 두 곡선 세그먼트가 접속되기 위해서는 첫째 기하하적인 조건인 위치연속조건(Position Continuity Condition)을 만족해야 한다.

$$r^a(1) = P_1 = r^b(0)$$

또, 양쪽 두 곡선 세그먼트에서 공통 접속점(P_1)의 1차 도함수가 같으면,

즉 $\dot{r}^a(1) = t_1 = \dot{r}^b(0)$ 이면, 이 두 곡선은 C^1 연속이라 한다.

만약, 두 곡선 세그먼트에서 공통 접속점의 2차 도함수가 같다면,

$$r^a(1) = r^b(0)$$

이것을 2차 연속이라고 한다. 위의 모든 조건을 만족한다면, 두 곡선 세그먼트는 C^2 연속이라 말한다.

본 논문에서의 베지에 곡선 접속조건으로는 공통점에서 1차 도함수가 같다면 두 곡선 세그먼트는 연속이라는 C^1 연속을 적용했다.

3. 곡면 이론

3.1 곡면 기하학

미분기하학에서 곡면은 하나의 평면에서 3차원 공간으로 점들을 맵핑(Mapping)한 상으로 정의한다.

이것을 매개 변수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\mathbf{r}(u, v) = (x(u, v), y(u, v), z(u, v))$$

여기서, u 와 v 는 곡선의 매개변수이다. [2][5][6][7]

1) 곡면의 접선벡터

그림 2.5에서처럼 매개변수 곡면 $\mathbf{r}(u, v)$ 의 영역상에서 2차원 매개변수 곡선을 다음과 같이 정의한다.

$$\mathbf{u}(t) = [u(t) \ v(t)]^T$$

그러면, $\mathbf{u}(t)$ 의 상은 곡면 $\mathbf{r}(u(t), v(t))$ 상에 놓이는 하나의 곡선을 만들어낸다.

$$\begin{aligned} \mathbf{r}(t) &= \mathbf{r}(u(t), v(t)) \\ &= (x(u(t), v(t)), y(u(t), v(t)), z(u(t), v(t))) \end{aligned}$$

곡면 $\mathbf{r}(u, v)$ 의 편도함수를 다음과 같이 정의하자

$$r_u = \partial \mathbf{r} / \partial u \quad ; \quad r_{uv} = \partial^2 \mathbf{r} / \partial u \partial v \quad ; \quad \text{etc.}$$

t 에 대한 (2.21)식의 미분은

$$\dot{\mathbf{r}} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} = \frac{\partial \mathbf{r}}{\partial u} \cdot \frac{du}{dt} + \frac{\partial \mathbf{r}}{\partial v} \cdot \frac{dv}{dt} = r_u \dot{u} + r_v \dot{v}$$

위 식에서 $\dot{\mathbf{r}}$ 는 $\mathbf{r}(t)$ 의 탄젠트벡터이다. r_u 와 r_v 는 Isoparametric 곡선의 탄젠트 벡터이다. 이 세 개의 탄젠트 벡터 $\dot{\mathbf{r}}, r_u, r_v$ 는 탄젠트평면이라 부르는 평면을 정의한다.

2) 곡면의 법선 벡터

탄젠트 평면에 수직인 단위 벡터 $\mathbf{n}$ 을 현재 점에서의 곡면의 단위 법선벡터라 부른다.

단위 법선 벡터는 벡터 r_u 와 r_v 의 Cross Product를 Normalizing 함으로서 얻어진다.

$$\mathbf{n} = (\mathbf{r}_u \times \mathbf{r}_v) / |\mathbf{r}_u \times \mathbf{r}_v|$$

3.2 베지에 곡면 패치 모델

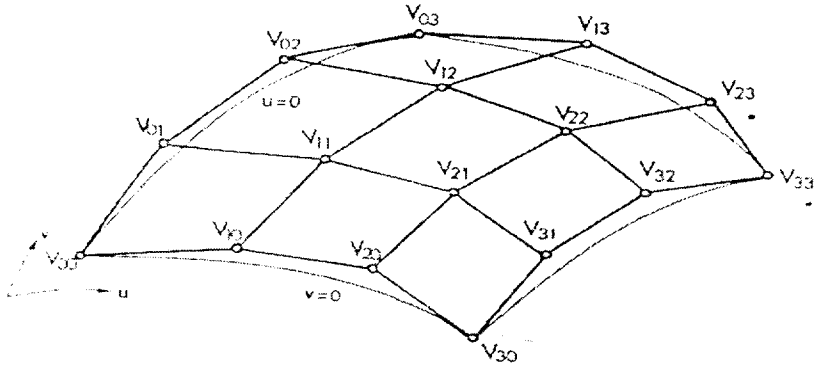


Fig. 5 Bicubic Bezier Patch

베지에 곡선을 일반화시킴으로서 베지에 패치를 구현할 수 있다. Fig. 5처럼 4×4 배열의 조절 버텍스[V]을 생각해 보자. 그러면 Bernstein Polynomial을 가진 Control Vertex를 Blending 함으로서 Bicubic 베지에 패치를 다음과 같이 얻을 수 있다. [2][5][6][7]

$$\begin{aligned} r(u, v) &= \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 B^3_i(u) B^3_j(v) V_{ij} \\ &= \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 \frac{3!}{(3-i)! i!} u^i (1-u)^{3-i} \frac{3!}{(3-j)! j!} v^j (1-v)^{3-j} V_{ij} \\ &= U M B M^T V^T \end{aligned}$$

where, $U = [1 \ u \ u^2 \ u^3]$; $V = [1 \ v \ v^2 \ v^3]$,

$$M = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ -3 & 3 & 0 & 0 \\ 3 & -6 & 3 & 0 \\ -1 & 3 & -3 & 1 \end{bmatrix} ; \quad B = \begin{bmatrix} V_{00} & V_{01} & V_{02} & V_{03} \\ V_{10} & V_{11} & V_{12} & V_{13} \\ V_{20} & V_{21} & V_{22} & V_{23} \\ V_{30} & V_{31} & V_{32} & V_{33} \end{bmatrix}$$

위 식에서 M 매트릭스를 베지에 계수 매트릭스라 부른다. 그리고 B 매트릭스를 베지에 조절 점 매트릭스라 부른다. 위의 베지에 패치도 역시 베지에 곡선처럼 Degree m, n으로 생성될 수 있다. 때때로 상용 CAD/CAM 시스템에서는 $m=n=5$ 나 $m=n=7$ 을 사용

한다. $m=n=5$ 일때는 Biquintic 베지에 패치를 정의하는데 36개의 Control Vertex가 필요하다.

3.3 베지에 곡면간의 접속

아래 그림은 공통 경계 곡선 $r^a(0, v) = r^b(0, v)$ 으로 나누어진, 두 곡면 패치 $r^a(u, v)$ 과 $r^b(u, v)$ 을 보여 주고 있다. 공통 경계곡선은 양 패치의 $u=0$ 곡선이며, 공통 경계 곡선상에서 곡면 패치의 도함수는 다음과 같다.[2][5][6][7]

$$a(v) = \dot{r}_u^a(0, v)$$

$$b(v) = \dot{r}_u^b(0, v)$$

$$c(v) = \dot{r}_v^a(0, v) = \dot{r}_v^b(0, v)$$

도함수 $c(v)$ 는 공통 경계곡선의 탄젠트 벡터이다. 그리고 $a(v)$ 와 $b(v)$ 는 각각 $r^a(u, v)$ 와 $r^b(u, v)$ 의 Cross-Boundary 탄젠트 벡터이다.

만약, 공통 경계 곡선을 따라 나뉘어진 두 패치의 탄젠트 평면이 일치한다면, 두 패치는 G^1 (Geometric C^1)연속이라고 한다. 만약 공통 경계곡선을 따른 두 패치의 Cross-Boundary 탄젠트 벡터가 Collinear이면 Collinear G^1 연속이다. 이 탄젠트 평면 연속은 기울기 연속 또는 Visual 연속이라고도 한다. 탄젠트 평면 연속은 3개의 탄젠트 벡터 $a(v)$, $b(v)$, $c(v)$ 가 하나의 평면에 놓임을 의미한다.

$$p(v)a(v) + q(v)b(v) + r(v)c(v) = 0.$$

이것을 두 사각형 패치간의 G^1 조건이라 한다.

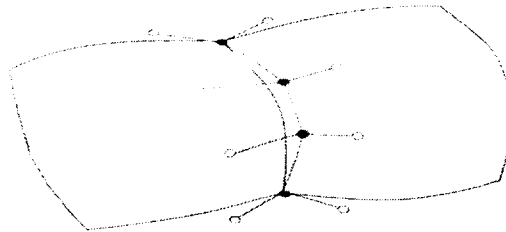


Fig. 6 G^1 연속 곡면 패치

4. 항주자세 예측(Running Attitude)

4.1 Savitsky의 항주자세 예측

1954년 'Savitsky'와 'Neidinger'의 수조시험 결과로부터 얻어진 실험 활주 방정식을 이용하여, 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.

항주자세를 예측하기 위해서는 먼저 활주형 선박에 작용하는 압력이나 힘을 모델링해야 한다. 이에 관해서는 다음과 같은 연구들이 있다.[2][8][13]

가) Savitsky 방법 : 실험결과를 이용하여 수식화한 방법

나) Vorus 방법 : 2-D impact/penetration 방법

다) USAERO : 상용 프로그램으로 source/doublet 분포법을 이용한 해석 방법

이들 방법 중에서 Savitsky방법은 다음과 같은 특성을 가지고 있다.

- 1) 주어진 트림과 평균침수거리에 대해 선체에 발생하는 힘과 그 힘의 중심좌표를 얻을 수 있다. 이는 수조시험 결과로부터 얻어진 실험식을 이용한다.
- 2) 다른 방법들에 비해 선형에 대한 간단한 기하학적 표현을 요구한다. 따라서, 사용하기 쉬운 반면 제한된 영역에서만 사용 가능하다.

따라서 초기 설계에 사용하고자 하는 본 프로그램에서는 Savitsky방법을 사용한다. 주어진 트림과 평균 침수거리에서 선체에 걸리는 힘과 모멘트가 평형을 이룰 때까지 트림과 평균 수선길이를 바꾸면서 반복 계산함으로써 항주자세를 예측한다.[8]

개략적인 Savitsky의 실험식은 다음과 같다.

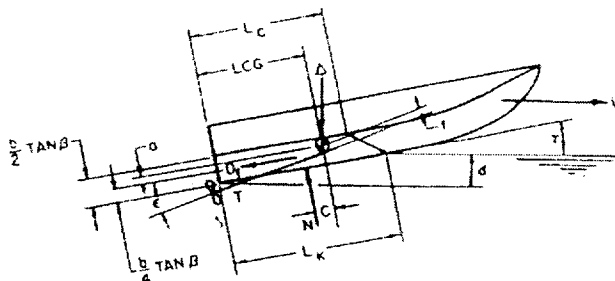


Fig. 7 Model of Savitsky

1) 활주면의 양력계수의 대한 실험적 양력식

$$C_L = \tau^{1.0} \left(c \lambda^{0.5} + \frac{D \lambda^n}{C_v^2} \right)$$

여기서, τ 는 트림, c 는 N과 CG간의 거리, λ 는 평균 침수 장-폭비, D 는 총 항력 성분, C_v 는 속도계수, n 은 임의의 상수이다.

2) Zero Deadrise Surface에 대한 실험적 양력식

$$C_L = \tau^{1.1} \left(0.0.12 \lambda^{0.5} + \frac{0.0055 \lambda^{2.5}}{C_v^2} \right)$$

여기서 위 식은, $0.6 \leq C_v \leq 13$, $2^\circ \leq \tau \leq 15^\circ$, $\lambda \leq 4$ 에서 적용 가능하다.

3) Deadrise Surface의 양력식

$$C_{L\beta} = C_{Lo} - 0.0065 \beta C_{Lo}^{0.6}$$

여기서, $C_{L\beta}$: Deadrise Surface에 대한 양력계수, β : 선저경사각, C_{Lo} : Deadrise Surface 경우의 τ , λ , C_v 로 작동하는 Flat Plate의 양력계수

4) Total Drag(D)

$$D = A \tan \tau + \frac{D_f}{\cos \tau}$$

여기서, D_f 는 바닥에 접선 방향으로 작용하는 점성 항력

$$D_f = \frac{C_f \rho V_1^2 (\lambda b^2)}{2 \cos \beta^4}$$

여기서, C_f : Schoenher 난류 마찰 계수, V_1 : 평균 바닥 속도
따라서, Planing Surface의 Hydrodynamic Drag(D)

$$D = A \tan \tau + \frac{C_f \rho V_1^2 (\lambda b^2)}{2 \cos \beta \cos \tau}$$

5) Planing Surface의 압력중심(C_p)

$$C_p = 0.75 - \frac{1}{5.21 - \frac{C_v^2}{\lambda^2} + 2.39}$$

여기서, C_p 의 값은 Transom에서 압력 중심까지 평균 침수장으로 나뉘진 길이 방향 거리의 비이다.

6) Porpoising : Smooth Water 상에 활주하는 동안, 발생하는 진폭, Pitch나 Heave시에 보트의 조합된 진동들로서 결정된다. Porpoising은 선체가 물 밖으로 전체가 던져지는 심한 운동이므로 구조적인 손상을 야기하며, 고속활주선체에 있어 독특한 것이다.

◆ Fig. 7에서 보다시피, Porpoising을 피하기 위해 요구되는 트림각은 선저 경사각이 증가할수록 커진다.

※ 경험식의 프로그램화를 위한 준비

1) Input Data : Lbp, VCG, Δ , b, β , V, τ

2) 프로그램 내부 계산 순서

(1) 속도계수 계산 (C_v)

$$C_v = \frac{V}{\sqrt{gb}}$$

(2) 양력계수 계산(For Deadrise Surface)($C_{L\beta}$)

$$C_{L\beta} = \frac{\Delta}{\frac{\rho}{2} V^2 b^2}$$

(3) 양력계수(For Zero Deadrise) 계산(C_{Lo})

$$C_{L\beta} = C_{Lo} - 0.0065 \beta C_{Lo}^{0.6} \quad (\text{by using Half Interval method})$$

(3) N과 CG간의 거리(c)계산

$$c = LCG - C_p \lambda b$$

(4) D_f 와 CG간의 거리(a)

$$a = VCG - \left(\frac{b}{4}\right) \tan \beta$$

(5) Trim 산정(τ)

$$\Delta \left[\frac{1 - \sin \tau \sin(\tau + \epsilon)}{\cos \tau} \right] \frac{c}{a - f} - f \sin \tau + D_f (a - f) = 0$$

τ , c , D_f 가 위 식을 만족할 때, 활주형 선박은 평형을 유지하고, 저항과, 동력, Stability가 쉽게 계산된다. 위 식은 Half Interval method를 사용하여, D_f 를 구하기 위해서 아래의 수식들을 함께 프로그램에서 사용하였다.

(6) 평균 침수 장-폭비 계산(λ)

$$C_{Lo} = \tau^{1.1} \left[0.012 \lambda^{0.5} + \frac{0.0055 \lambda^{2.5}}{Cv^2} \right] \quad (\text{by using Half Interval method})$$

(7) 평균 속도 계산(V_1)

$$V_1 = V \left(1 - \frac{0.012 \tau^{1.1}}{\lambda^{0.5} \cos \tau} \right)$$

(8) 레이놀즈 값 계산(R_n)

(9) 마찰 항력계수 계산(C_f)

$$\frac{0.242}{\sqrt{C_f}} = \log_{10} (R_n \times C_f) \quad \text{or} \quad C_f = 0.463 \times [\log_{10} (R_n)^{-2.6}]$$

(9) ΔC_f (from ATTC Standard roughness)

(10) 마찰 항력 성분 계산(D_f)

$$D_f = \frac{C_f \rho V_1^2 \lambda b^2}{2 \cos \beta} = \frac{\rho V_1^2 \lambda b^2 (C_f + \Delta C_f)}{2 \cos \beta}$$

(11) Total Drag 계산(D)

$$D = \Delta \tan \tau + \frac{D_f}{\cos \tau}$$

(12) 압력중심 계산(C_p)

$$C_p = 0.75 - \frac{1}{5.21 \times \frac{C_v^2}{\lambda^2} + 2.39}$$

(15) 활주 상태에 있어 평형 방정식

$$\Delta[[1 - \sin \tau \sin(\tau + \epsilon)] \frac{c}{\cos \tau} - f \sin \tau] + D_f(a - f) = E$$

E=0 이어야 평형 방정식 만족

E=0 이 되게 하는 Trim의 계산 : τ 와 E 값의 보간법으로 계산

τ_ϵ 에 대한 Horizontal Drag Force 보간법 이용하여 계산

(16) 유효마력계산

$$EHP = \frac{DV}{550} \text{ (lb} \cdot \text{ft/sec)} = \frac{DV}{75} \text{ (kg} \cdot \text{m/sec)}$$

(17) 평형을 만족하는 평균 침수 장-폭비(λ_ϵ)계산

τ 와 λ 값의 보간법으로 계산

(18) 침수장(Wetted Keel Length : L_k)계산

$$L_k = \lambda_\epsilon b + \frac{b \tan \beta}{2\pi \tan \tau}$$

(19) Wetted Chine Length(L_c)계산

$$L_c = \lambda_\epsilon b - \frac{b \tan \beta}{2\pi \tan \tau}$$

(20) 선미에서 Draft of Keel 계산

$$d = L_k \sin \tau_\epsilon$$

(21) Porpoising Stability 추정 및 항주자세 추정

$$\sqrt{\frac{[C_{L\beta}]}{2}} = P$$

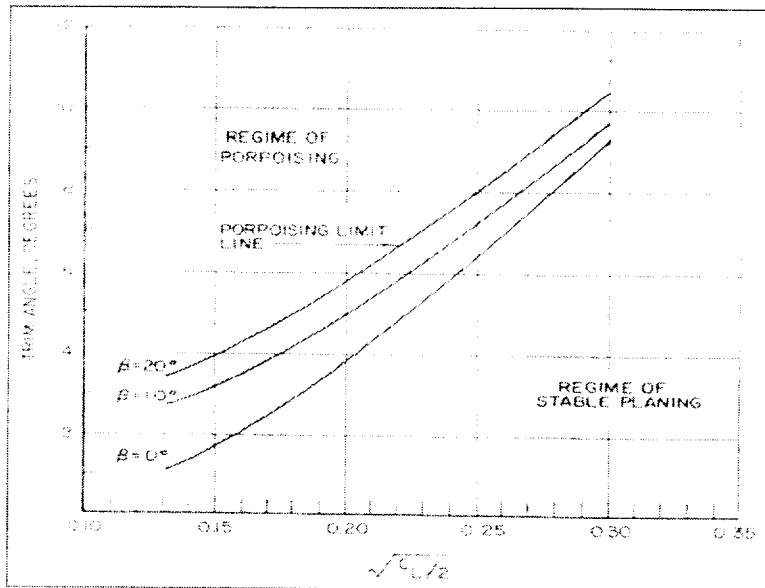


Fig. 7-1 Porpoising Limits for Prismatic Planing Hulls

Fig. 7-1에서 각 선저경사에 따른 Trim값의 좌표값을 따서 Data 파일로 저장한 뒤에, $\sqrt{[C_{L\beta}]/2}$ 값이 증가될 때의 Trim값과 선저경사에 대한 Porpoising Limit가 되는 Trim값과의 대소비교로 Limit가 되는 Trim값이 클 경우 Porpoising을 하게되는 경우이며, 적게 되는 경우가 Porpoising을 하지 않는 경우이다.

◆ Porpoising Limits Data (Porpoising_limit.dat)

18 // $\sqrt{[C_{L\beta}]/2}$ 를 18개로 나누었다.

0.13	1.048	2.680	3.400
0.14	1.352	2.912	3.664
0.15	1.672	3.168	3.936
0.16	2.096	3.464	4.252
0.17	2.400	3.760	4.552
0.18	2.800	4.080	4.944

0.19 3.328 4.536 5.368
0.20 3.800 4.968 5.800
0.21 4.248 5.352 6.152
0.22 4.760 5.752 6.560
0.23 5.360 6.320 7.064
0.24 5.839 6.752 7.488
0.25 6.480 7.360 8.000
0.26 6.960 7.696 8.480
0.27 7.520 8.184 8.960
0.28 8.032 8.640 9.400
0.29 8.680 9.248 9.960
0.30 9.240 9.680 10.496

5. 선박의 운동 추정(Motion Analysis of Planing Hull)

5.1 규칙과 중 Zarnick 의 운동 방정식

비선형 수학적 모델은 수정된 Low-Aspect-Ratio 또는 Strip Theory를 이용하여, 규칙 파에서 활주하는 일정한 선저경사각을 가지는 소형 선박에 대해 정식화될 수 있다. 파장이 선박의 길이에 비교하여 크고, Wave Slope가 작다고 가정하여, 운동 방정식에 있어 계수들은 이론과 실험의 관계를 조합함으로써 결정되어진다.

규칙 선수파에서 Hard Chine과 일정한 선저경사를 갖고 고속으로 활주하는 V형 Prismatic Body로 단순화시켜 정식화한 식을 이용하였다. [9]

1) 운동 방정식($\Sigma F=0$)

(1) Surge로 제한

$$M \ddot{x}_{CG} = T_x - D \cos \theta - N \sin \theta \quad \text{----- i)식}$$

(2) Heave로 제한

$$M \ddot{z}_{CG} = W + D \sin \theta - T_z - N \cos \theta \quad \text{----- ii)식}$$

(3) Pitch로 제한

$$I \ddot{\theta} = N x_c - D x_d + T x_p \quad \text{----- iii)식}$$

여기서, M : 선박의 질량, W : 선박의 무게, N : 법선 방향 유체력, D : 항력

T_x : x 방향 추력 T_z : z방향 추력, x_c : 중력 중심에서 N까지의 거리, x_d : 중력 중심에서 D 작용 중심점까지의 거리, x_p : CG에 대한 추력 모멘트 Arm

2) Total 유체력과 모멘트

(1) Vertical 방향 유체력(F_z)

$$\begin{aligned} -N \cos \theta &= F_z(t) = \int_l f \cos \theta d\xi + \int_l f_B d\xi \\ &= - \int_l \left[\frac{D}{Dt} m_a V + C_{D,C} \rho b V^2 \right] d\xi - \int ag A \rho d\xi \end{aligned}$$

$$= - \left[\int_l (m_a V' + m_a' V - U \frac{\partial}{\partial \xi} m_a V) \cos \theta d\xi \right] - \int_l a \rho g A d\xi$$

$$\begin{aligned} \ast \quad \frac{df}{dt} &= \frac{\partial f}{\partial t} + \frac{\partial \xi}{\partial t} \frac{\partial f}{\partial \xi} = \frac{\partial}{\partial t} m_a V - U \frac{\partial}{\partial \xi} m_a V \\ &= m_a V' + m_a' V - U \frac{\partial}{\partial \xi} m_a V \end{aligned}$$

여기서, $x = \xi + Ut$, $\xi = x - Ut$

여기서, f : 단면에 작용하는 단위 길이당 유체력

$$f = - \left[\frac{D}{Dt} (m_a V) + C_{D,C} \rho b V^2 \right]$$

$f_B = -a \rho g A$: 부력

m_a : 부가질량

$C_{D,C} = 1.0 \cos \beta$: 항력계수

(2) Horizontal 방향으로 작용하는 힘(F_x)

$$\begin{aligned} -N \sin \theta &= F_x = \int_l f \sin \theta d\xi \\ &= - \left[\int (m_a V' + m_a' V - U \frac{\partial}{\partial \xi} m_a V) + C_{D,C} a \rho g A \right] \sin \theta d\xi \end{aligned}$$

(3) CG에 대한 유체역학 모멘트(F_θ)

$$\begin{aligned} F_\theta &= - \int_l f \xi \cdot d\xi - \int_l f_b \cos \theta \cdot \xi d\xi \\ &= \int_l [m_a V' + m_a' V - U \frac{\partial}{\partial \xi} m_a V + C_{D,C} \rho g b V^2 + a \rho g A \cos \theta] \xi d\xi \end{aligned}$$

여기서,

① 속도(U, V)

$$U = X_{CG}' \cos \theta - (Z_{CG}' - W_z) \cos \theta$$

$$V = X_{CG}' \sin \theta - \theta' \xi + (Z_{CG}' - W_z) \sin \theta$$

② 임의의 점 $P(\xi, \zeta)$ 에서의 침수 깊이(h)

$$h = Z_{CG} - \xi \sin \theta + \zeta \cos \theta - \gamma$$

③ 규칙 선수파에서, 선형심수파의 파고(γ)

$$\gamma = \gamma_0 \cos k(x + ct)$$

여기서, γ_0 : 파진폭, k : 파수, c : wave celerity, $x = x_{CG} + \xi \cos \theta + \zeta \sin \theta$,

$$X_{CG} = \int_t X_{CG}' dt$$

3) Equation of Motion

$$V' = \frac{dV}{dt} = X_{CG}'' \sin \theta - \theta'' \xi - \theta' \xi' + (Z_{CG}'' - W_z') \cos \theta$$

$m_a V'$ 항을 고려하여 식에서 관성항(가속도 포함된 항)만 뽑아서 정리하면,

$$(1) F_z = -N \cos \theta$$

$$= - \left[\int_t m_a \cos \theta (X_{CG}'' \sin \theta - \theta'' \xi - \theta' \xi' + (Z_{CG}'' - W_z') \cos \theta + \dots + d\xi) \right]$$

$$= - M_a X_{CG}'' \sin \theta \cos \theta + Q_a \cos \theta \theta'' - M_a \cos^2 \theta Z_{CG}'' + \dots$$

이 식을 ii)식에 대입하여 정리하면,

$$(M + M_a \sin^2 \theta) Z_{CG}'' + (M_a \sin \theta \cos \theta) X_{CG}'' - (Q_a \cos \theta) \theta' = T_z + F_z' + D \sin \theta + \dots$$

$$(2) F_x = -N \sin \theta$$

$$= - \left[\int (m_a V' + m_a' V - U \frac{\partial}{\partial \xi} (m_a V) + C_{D,C} \rho g A) \sin \theta d\xi \right]$$

V' 를 대입,

$$F_x = - \left[\int_t m_a (X_{CG}'' \sin \theta - \theta'' \xi - \theta' \xi' + (Z_{CG}'' - W_z') \cos \theta) \sin \theta + \dots + d\xi \right]$$

$$= - M_a X_{CG}'' \sin^2 \theta + Q_a \sin \theta \theta'' - M_a \sin \theta \cos \theta Z_{CG}'' + \dots$$

이 식을 i)식에 대입하여 정리하면,

$$(M + M_a \sin^2 \theta) X_{CG}'' + (M_a \sin \theta \cos \theta) Z_{CG}'' - (Q_a \cos \theta) \theta'' = T_x + F_x' - D \cos \theta + \dots$$

$$\begin{aligned}
(3) \quad F_{\theta} &= \int_I (m_a V' + \dots) \xi d\xi \\
&= \int_I m_a \xi [X_{CG}'' \sin \theta - \theta'' \xi - \theta' \xi' + (Z_{CG}'' - W_z') \cos \theta + \dots] d\xi \\
&= Q_a \sin \theta X_{CG}'' + Q_a \cos \theta Z_{CG}'' - I_a \theta'' + \dots
\end{aligned}$$

이 식을 iii) 식에 대입하면,

$$(I + I_a) \theta'' - (Q_a \sin \theta) X_{CG}'' - (Q_a \cos \theta) Z_{CG}'' = T_{x'} - D_{x'} + F_{\theta}'$$

$$\text{여기서, } M_a = \int_I M_a d\xi, \quad Q_a = \int_I M_a \xi d\xi, \quad I_a = \int_I M_a \cdot \xi^2 d\xi$$

$$F_x - F_{x'} = (\text{관성항}), \quad F_z - F_{z'} = (\text{관성항}), \quad F_{\theta} - F_{\theta}' = (\text{관성항})$$

4) Equation of Motion(For Constant Speed)

$$X_{CG}' = C, \quad X_{CG}'' = 0$$

$$(M + M_a \cos^2 \theta) Z_{CG}'' - (Q_a \cos \theta) \theta'' = F_{z'} + W$$

$$(I + I_a) \theta'' - (Q_a \cos \theta) Z_{CG}'' = F_{\theta}'$$

일정 시간 경과후의 선박의 운동을 알 수 있으며, 이 부분에 대한 프로그램은 Zarnick의 논문에서 제공한 프로그램을 사용하였다.

6. 선형 모델링 프로그램 개발

6.1 윈도우즈

오랫동안 기본이 되었던 도스 프로그램들은 점점 사라지고 GUI(Graphic User Interface) 환경의 대표적인 윈도우즈가 그 자리를 차지하고 있다. 이렇게 빨리 윈도우즈가 컴퓨터의 정상으로 올라서는 이유는 무엇보다도 사용의 간편성을 들 수 있다. 조그마한 아이콘을 이용하는 윈도우즈는 사용자에게 그 편리함을 줄 뿐 아니라, 640 KB 이상 메모리 이용, 멀티 태스킹 방식이고, 응용에서 실행까지 모든 과정이 메시지를 주고받는 “메시지 이벤트” 방식으로 되어 있다. 또한 윈도우즈는 임의적으로 혹은, 일괄적으로 모든 처리를 하는 것이 아니라 사용자가 어떻게 윈도우즈에게 입력명령을 내리느냐에 따라 그에 맞는 처리를 한다.[10][11]

6.1.1 윈도우즈 프로그램

1) 그래픽 사용자 인터페이스(GUI)

윈도우즈는 화면 영역을 다양한 각도에서 효율적으로 사용할 수 있으며, 정보표현에 있어서도 시각적으로 풍부한 환경을 제공한다. 사용자는 키보드를 사용하여 화면에서 오브젝트(객체)들을 조작할 수 있으며, 이러한 편리한 기능 때문에 사용자와 프로그램 사이의 대화가 원활히 이루어지게 된다.[12]

2) 일괄된 사용자 인터페이스

대부분의 윈도우즈용 응용 프로그램을 동일한 기본 외양과 느낌을 가지고 있기 때문에 사용자는 프로그램을 익히는데 오랜 시간을 낭비할 필요가 없다.

3) 멀티태스킹 지원

여러 개의 윈도우즈용 응용 프로그램들이 한꺼번에 표시될 수 있으며, 크기를 바꿀 수 있으며, 다른 프로그램으로의 전환이 자유롭다. 또 하나의 장점은 하나의 프로그램에서 또 다른 프로그램으로 데이터를 자유롭게 전환할 수 있다는 것이다.

4) 입력장치로부터 독립된 그래픽 인터페이스

윈도우즈용 프로그램은 도스용 프로그램과 같이 화면과 프린터 같은 그래픽 디스플레이 장치의 하드웨어를 직접 액세스하지 않는다. 따라서, 프로그래머는 어떤 종류의 장치가 시스템에 연결되어 있는지 알 필요가 없으며, 하드웨어에 독립적이며 호환과 확장이 가능한 프로그램을 제작할 수 있다.

5) 효율적인 메모리 관리

윈도우즈 운영체제뿐만 아니라 다른 모든 운영체제에서도 메모리 효율적인 관리는 매우 중요하다. 윈도우즈와 같은 멀티태스킹 기능을 수반하는 운영체제에서는 새로운 프로그램이 시작되고 이전의 프로그램이 종료됨에 따라 메모리가 작은 조각으로 나뉘어지게 되는데 이러한 메모리공간을 하나로 통합할 수 있다는 것이다.

6) 프로그램 인스턴스를 공유한다.

윈도우즈는 하나의 동일한 프로그램을 여러 개의 독립적인 객체로 실행되어진 각각의 프로그램이 모두 독립된 코드 세그먼트와 데이터 세그먼트를 가지는 것이 아니라 코드 세그먼트는 공유하고 데이터 세그먼트는 각각의 프로그램 인스턴스가 고유하게 갖게 된다.

6.1.2 동작방식

윈도우즈의 모든 동작은 마우스의 왼쪽 버튼이 눌러졌다거나, 키보드가 눌러졌다거나 하는 등의 어떤 사건에 대해 응답하는 방식으로 이루어진다. 즉 응용 프로그램의 실행에서부터 동작까지 모든 과정이 메시지를 주고받는 방식으로 되어 있다. 윈도우즈는 임의적으로 혹은 일괄적으로 모든 처리를 하는 것이 아니라 사용자가 어떻게 윈도우즈에게 입력명령을 내리느냐에 따라 그에 맞는 처리를 한다. 이러한 방식을 “메시지 이벤트”방식 혹은 “메시지 드리븐 방식”이라고 한다. 이러한 방식은 도스 상에서 작성한 프로그램 처리 방식과는 큰 차이점이자 윈도우즈 프로그램만이 가지고 있는 새로운 개념이다.[12]

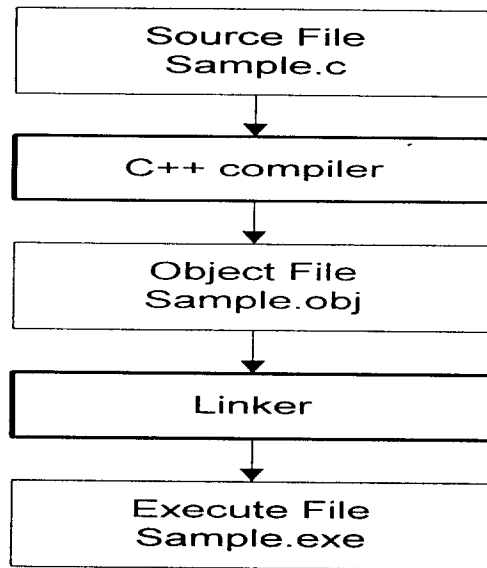


Fig. 9 도스상에서의 실행 파일 생성과정[11][12]

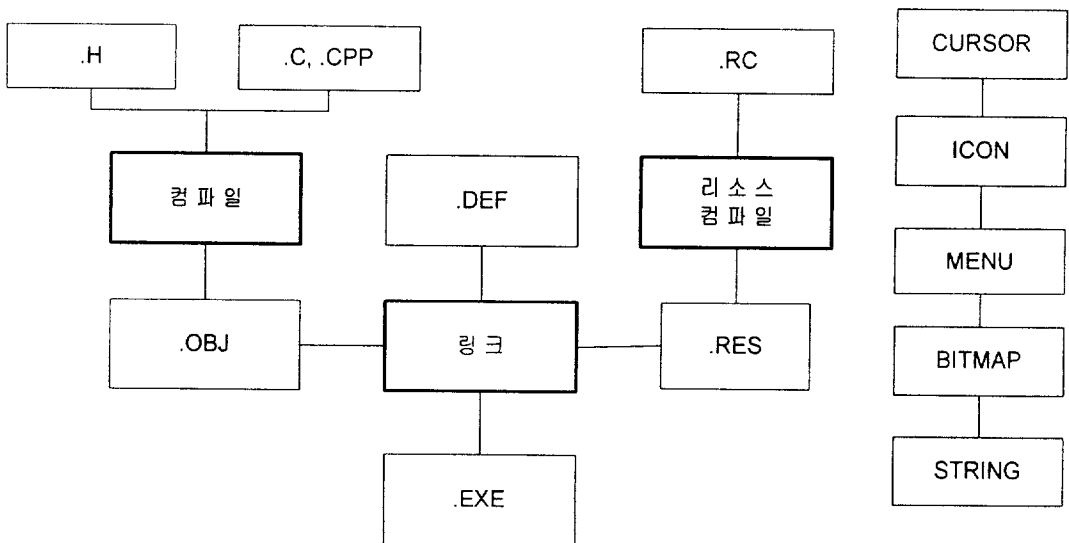


Fig. 9 윈도우즈 상에서의 실행파일 생성과정[11][12]

7. 프로그램 구성

7.1 프로그램 Flow Chart

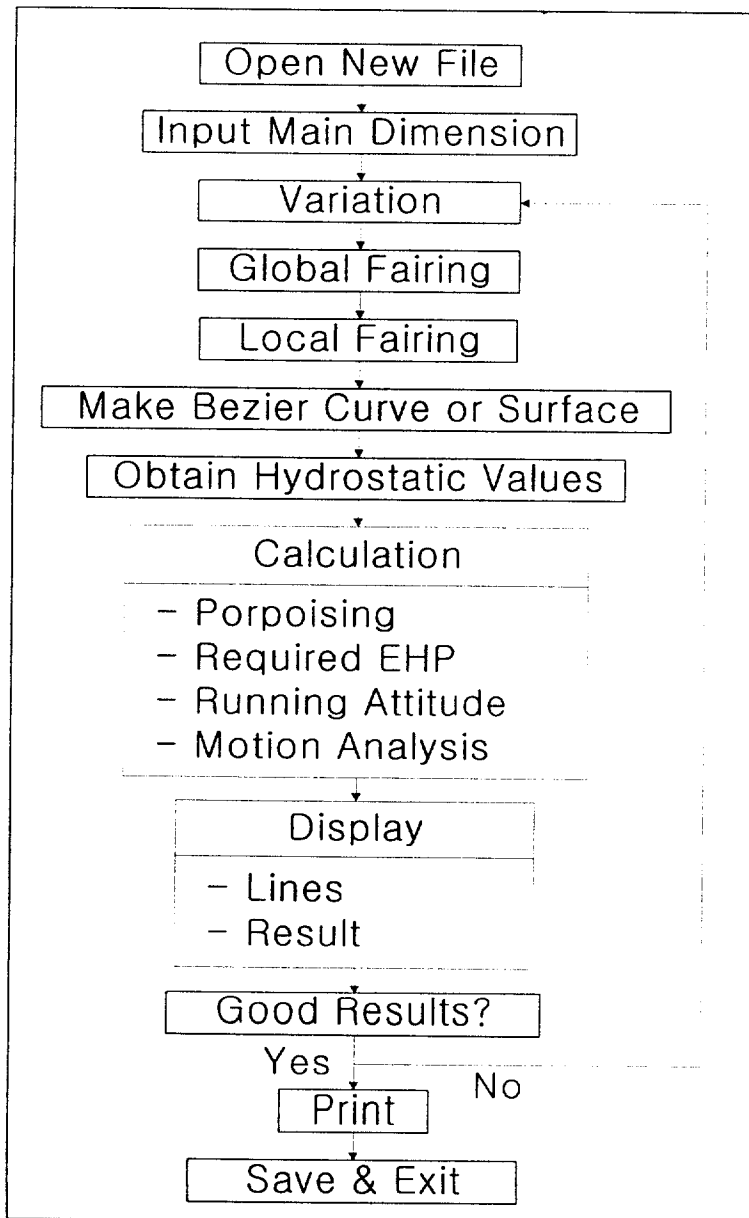


Fig. 10 Flowchart of Program

7.2 프로그램의 전 화면

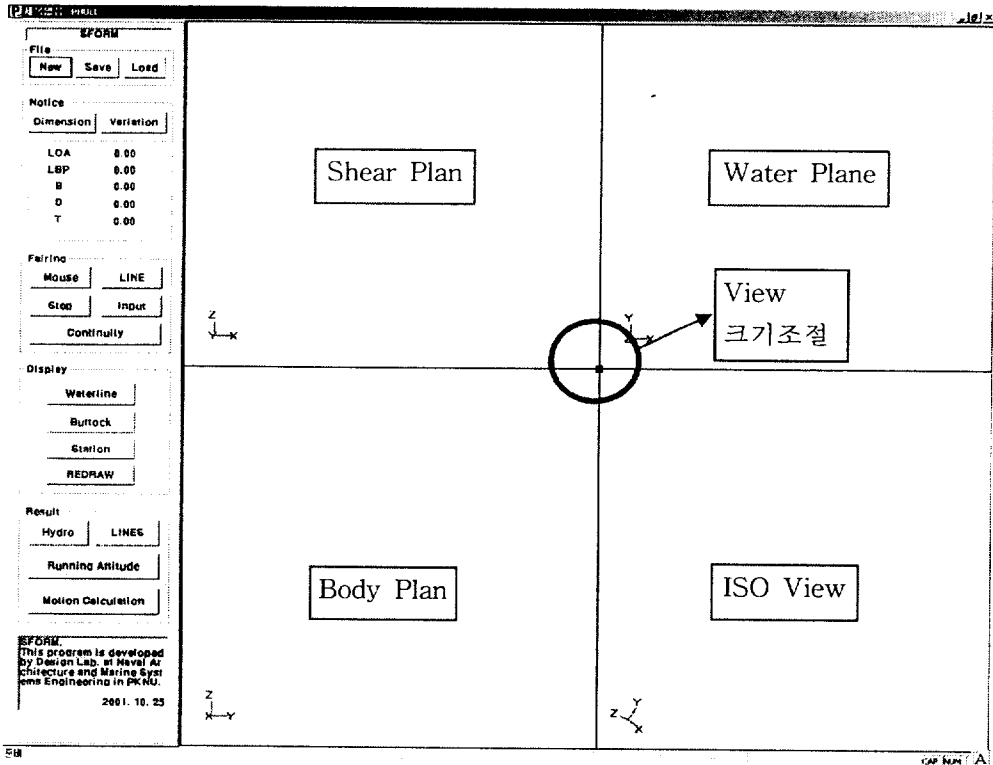


Fig. 11 프로그램 전 화면

※ Fig. 11에서 빨간색 원 내부의 검은 점을 마우스로 찍어서 이동하면서, 나뉘진 4개의 View중에서 자신이 확대해서 보고자하는 View만을 골라서 볼 수 있다. 그리고, 각각의 View창 왼쪽 하단 부분에는 좌표축을 Display해서 작업 시 도움을 주고 있다. 또한 View창들 중 오른쪽 아래의 View창은 Isoparametric 좌표계를 사용하여 3-D 개념으로 설계 작업을 가능하도록 하였다. [8][12][14]

7.3 주요기능 및 특징

7.3.1 프로그램 개요

1) 프로그램 개발언어

본 프로그램은 PC에서의 구동을 위하여 Visual C++ 언어를 이용하여 작성되었다. 앞으로 윈도우즈 자체가 더욱 객체 지향적으로 발전할 것을 고려하여, 전문적인 개발자에게 널리 보급되어 있는 객체 지향 언어인 Visual C++ 언어를 제공할 뿐만 아니라 Microsoft Foundation Class(MFC) Library에 들어 있는 수백 개의 미리 정의된 클래스도 제공한다. 따라서 GUI 프로그래밍의 대부분은 MFC를 사용하여 작성하고 있다.

2) 좌표계

본 프로그램에서 사용된 선박의 좌표계(x, y, z)는 선체중앙부 바닥을 기준 좌표점으로 하고, 선수방향을 +x, 좌현을 +y, 수직 상방향을 +z, 정의한다.

7.3.2 GUI 기능

사용자가 좀더 편리한 설계작업을 수행하기 위해 제공한 GUI 기능 중 대표적인 것은 다음과 같다. [2][8][12][14]

1) Multi Viewing

총 4개의 View를 동시에 디스플레이 하여, 화면의 중심을 기준으로 우측 하단은 3-D 개념의 View로 선박의 변화·순정 되는 모습을 볼 수 있으며, 좌측 상단은 y축 고정(측면도), 우측 상단은 z축 고정(평면도), 좌측 하단은 x축을 고정(정면도)하여, 설계할 선박의 모습을 변화·순정할 수 있도록 하였으며, 곡면의 수정이나 순정을 수행할 경우 각 곡선이 놓이는 평면의 View에 동시에 디스플레이 하여, 작업하면 양 방향의 이동상태를 확인하면서 진행할 수 있으므로 편리하다.

2) One-step Windowing

Zoom In/Out, Panning, Rotation 등의 보편적인 CAD 디스플레이 기능은 Hot-key의 설정에 의해 별도의 메뉴 선택 없이 항상 가능하도록 하였다.

3) Rubber Band 기능

곡선 및 곡면의 수정 시에 변화되고 있는 형상을 실시간으로 보여줌으로써 사용자의 판

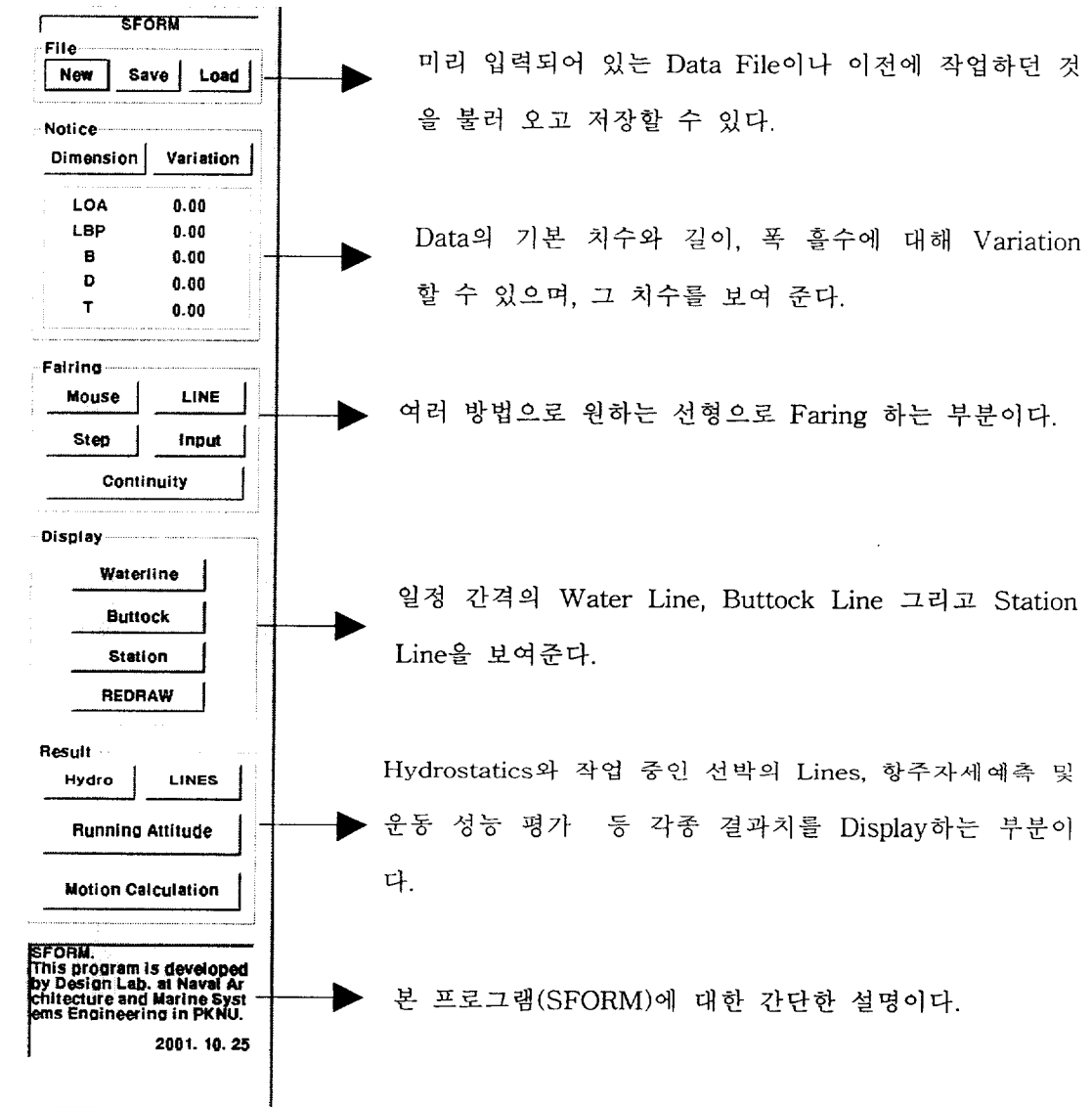
단에 도움을 줄 수 있는 기능이다.

4) 텍스트 파일 혼용이용

일부 수정기능에서 텍스트를 입력함으로써 선박의 형상 수정을 가능하도록 하였다.

7.4 프로그램의 구성

7.4.1 주 메뉴의 구성



※ 주메뉴 부분별 설명

1) FILE



- New : 프로그램의 형식에 맞게 저장되어 있는 여러 종류의 Planing Hull을 불러온다.
- Save : 자신이 작업하던 데이터를 저장할 수 있다.
- Load : 작업했던 데이터를 불러 올 수 있다.

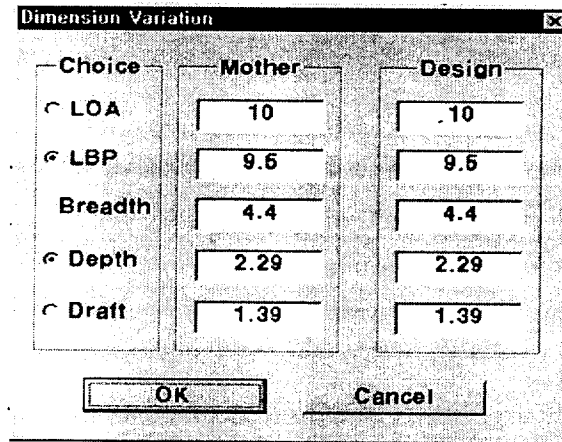
2) Notice

Notice	
Dimension	Variation
LOA	0.00
LBP	0.00
B	0.00
D	0.00
T	0.00

- Dimension : 불러온 데이터에 기본적으로 들어가 있는 Main Dimension의 확인 및 Variation 후의 변경된 Main Dimension을 확인할 수 있다.

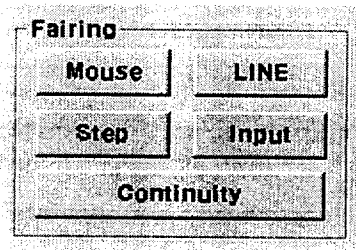
A screenshot of a dialog box titled 'Main Dimension'. It contains five input fields with the following labels and values: LOA (20), LBP (19), BREADTH (4.4), DEPTH (2.29), and DRAFT (1.39). At the bottom, there are 'OK' and 'Cancel' buttons.

- Variation : 선택한 선형에 대해 Loa, Lbp, B, D, d로 대충 원하는 형상으로 Variation 한다.



위의 그림에서 Mother는 화면상에 나타난 미리 저장되어 있는 선형의 Main Dimension이며, Choice에 Variation을 할 기준이 될 부분의 Check Box를 선택한 후 Design 부분에서 수치를 원하는 대로 바꿔주면 된다.

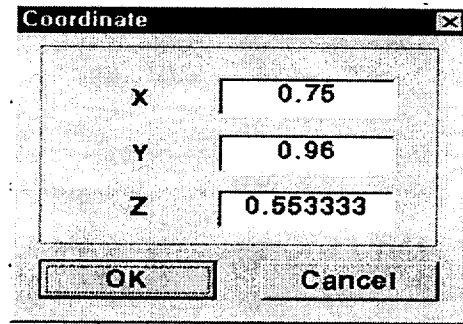
3) Fairing



※ 여기선 일단 원하는 부분을 마우스로 클릭 후에 사용 가능하게 하였다.

- Mouse : 화면에 나타난 Vertex를 마우스로 원하는 지점으로 이동하여 원하는 대로 선박을 Faring 할 수 있도록 하였다.
- LINE : 두 점을 잇는 방정식을 이용하여, 잘못된 부분이나, Faring 작업을 Line 별로 다시 하고자할 때 선택하면 끝점 Vertex를 잇는 직선으로 나타나게 된다.
- Step : 미세한 Faring 조절을 위해 마우스를 이용 Vertex를 선택하여, 키보드상의 방향키를 이용하여 상·하·좌·우로 Vertex를 이동하여 Faring 할 수 있다.

- Input : 마우스로 Fairing할 Vertex를 선택하면 아래와 같은 창이 뜬다. 이것은 선택된 Vertex Point의 X, Y, Z축의 좌표점이며, 여기에 자신이 원하는 좌표점을 기입하면 Vertex가 이동하게 된다.



- Continuity : 곡면의 연속성을 만족시키기 위한 것이다. 이 버튼을 누르면 곡면내부 Vertex가 화면에 분홍색으로 Display된다. 왼쪽에서부터 오른쪽으로 순서대로 내부 Vertex를 선택하면 곡면간의 GC^1 연속성을 만족하는 곡면이 형성된다.

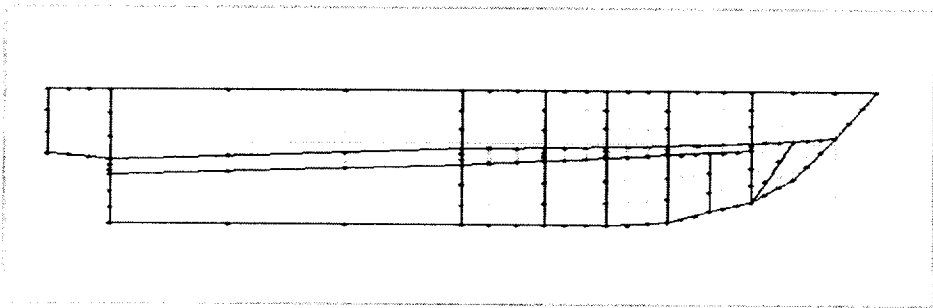
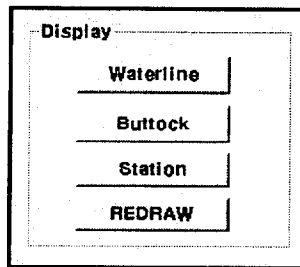


Fig. 12 Example of Continuity

4) Display



- Waterline : 이 버튼을 클릭하면, 일정 간격의 Waterline이 하늘색으로 나타난다.
- Buttock : 이 버튼을 클릭하면, 일정 간격의 Buttock Line이 빨간색으로 나타난다.
- Station : 이 버튼을 클릭하면, 일정 간격의 Station이 연두색으로 나타난다.
- REDRAW : 이 버튼을 클릭하면, 화면에 Display되던 Waterline, Buttock, Station등의 Line이 사라진다.
- Grid : Check Box를 선택하면, 화면상의 Grid를 보여주게 된다.
- Curvature : Check Box를 선택하면, 곡면상의 일정 곡선의 곡률을 볼 수 있다.
- Vertex : Check Box를 선택하면, Vertex를 볼 수 있다.

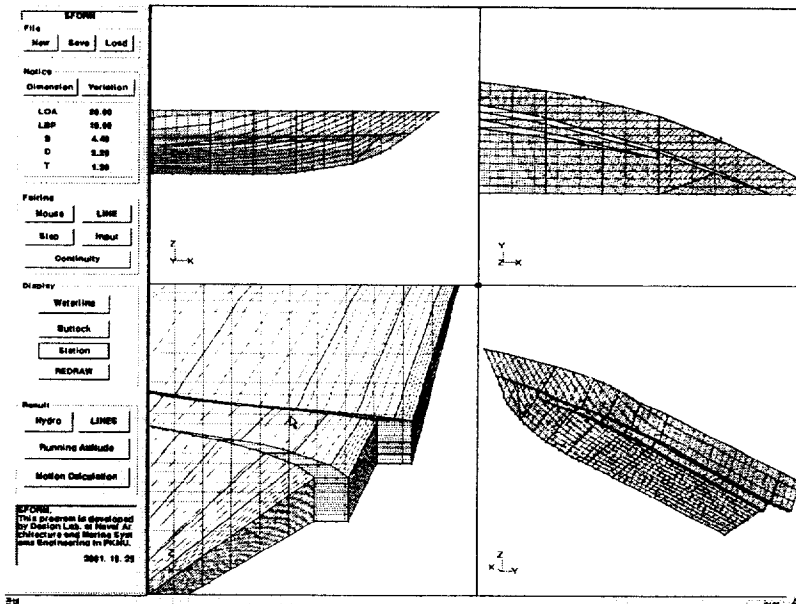
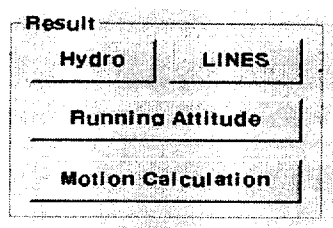
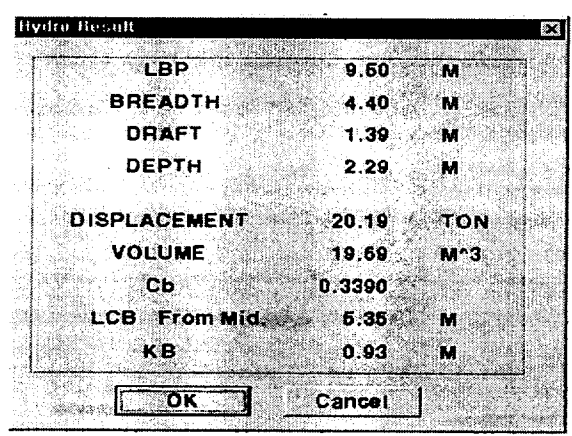


Fig. 13 Waterline, Buttock and Station Line을 Display한 모습

5) Result



· Hydro : 작업 중이던 선형에 대해 Hydrostatic을 보여준다.



· Lines : 작업 중이던 선형의 L:ines를 Display 해준다.

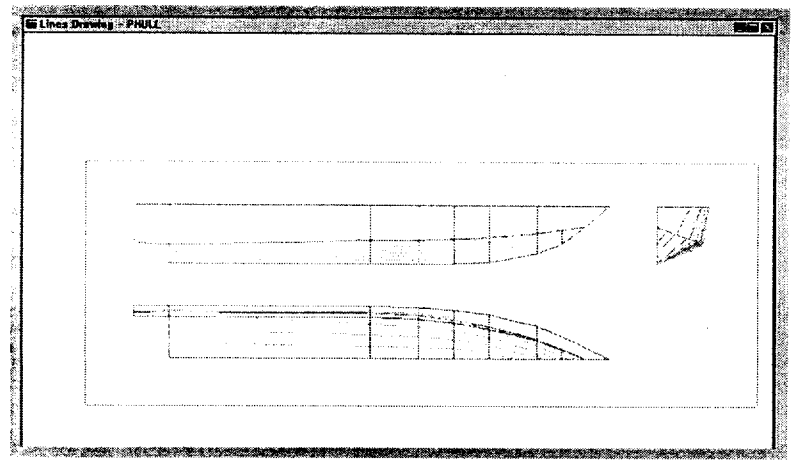


Fig. 14 Lines Display

- Running Attitude : Savitsky의 경험식을 바탕으로 한 항주 자세의 계산을 수행하는 부분이다. [8][13][18][19][20][21]

[기본정보 값]		[결과치]	
Displacement(Δ)	30 (Ton)	Porpoising Stability	
LCG	8.8392 (m) From AP	This ship is Stable.	
VCG	0.6096 (m)	Reynolds Number	2.94001e+
Breadth(B)	4.4 (m)	Mean Velocity	66.9227 (knots)
Velocity(V)	40 (knots)	Wetted Beam Length Ratio	3.31044
Deadrise(β)	10 degree	Current Trim	2.4077 degree
Density of Mass(ρ)	1.025 (kg / m ³)	EHP	
a (Df ~ CG)	0.423672 (m)	EHP	853.323
t (T ~ CG)	0.1524 (m)	☒ HP	☐ lb-ft / sec
E	4 degree	☐ PS	☐ kg-m / sec
g(Gravity Acceleration)	9.81 (m/sec ²)	☐ kW	
		EHP Graph (HP for change of velocity)	
		OK	Cancel

Fig. 15 Running Attitude

- 기본정보 값 : 작업 중인 선박의 Main Dimension 및 활주형 선박으로서의 특징 값을 입력하는 부분이다.
- 결과치 : Porpoising Stability 버튼을 누르게 되면, 작업중인 선박의 Porpoising의 여부를 판단할 수 있다. 대화창에 'This ship is Stable.' 이라고 하면 설계중인 선박이 Porpoising을 하지 않는다는 것이며, "This ship is Unstable."이라는 것은 Porpoising을 한다는 의미이다. 따라서 Unstable 하다면 다시 처음부터 작업을 새로이 할 필요가 있다.
- EHP : 요구되는 EHP를 각 단위별로 계산할 수 있다. 여기서 HP(Horse Power)를 Default로 한다.

- EHP Graph(EHP for change of velocity) : 유효마력을 속도별로 구하여 도시화하여 나중에 Main Engine 결정시 중요한 자료가 된다.

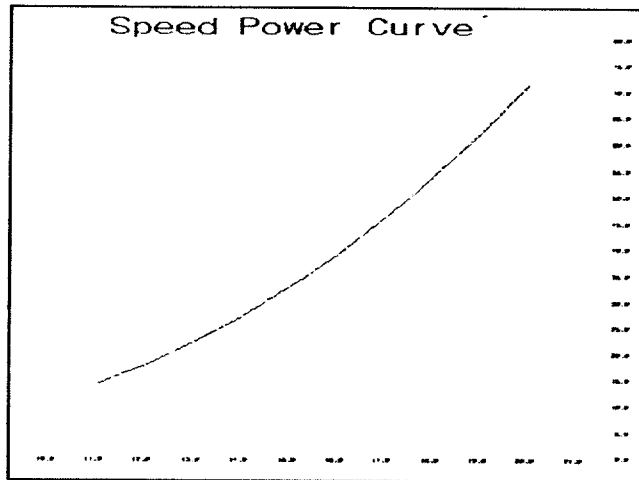


Fig. 16 Speed Power Curve

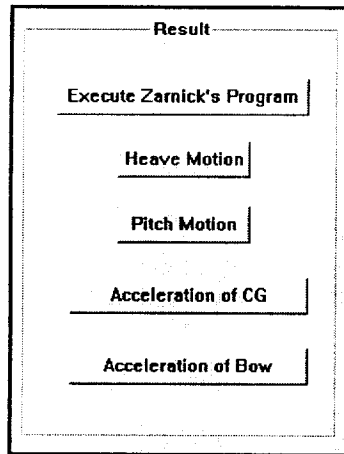
- Motion Calculation : Zarnick이 제공한 프로그램을 바탕으로 하여 선박의 운동성능을 계산할 수 있다.[9][19][20][21]

DATA		Number of Station	
Displacement	54.8326	110	
LCG	5.334		
VCG	-0.762		
R.G. (Radius of gyration)	0		
B.L. (length)	19		
Tz (Thrust in z Direct)	0		
Tx (Thrust in X Direction)	0		
Xp (Prop Moment Arm)	0		
Xd (Drag Moment Arm)	0		
KAR (Added Mass Coeff.)	1		
Frictional drag	0		
Velocity	42.2		

Result

Fig. 17 Motion Calculation

- DATA : 선박의 운동성능 평가를 위한 각종 Data를 얻어오고 입력하는 부분이다.
- Result : Zarnick의 프로그램을 이용하여 선박의 운동을 계산한 결과치를 보여주는 부분이다.



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

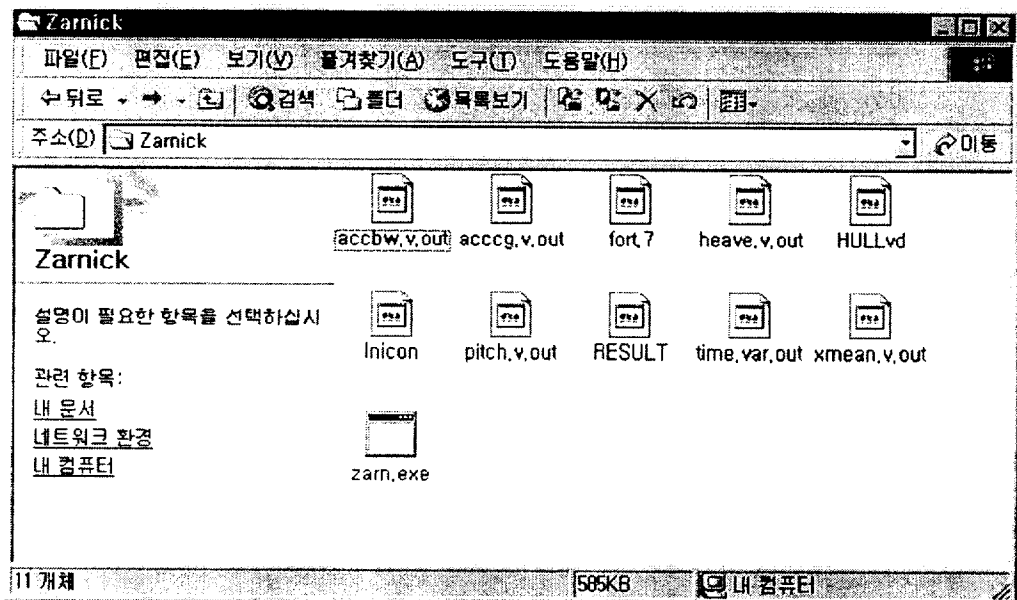
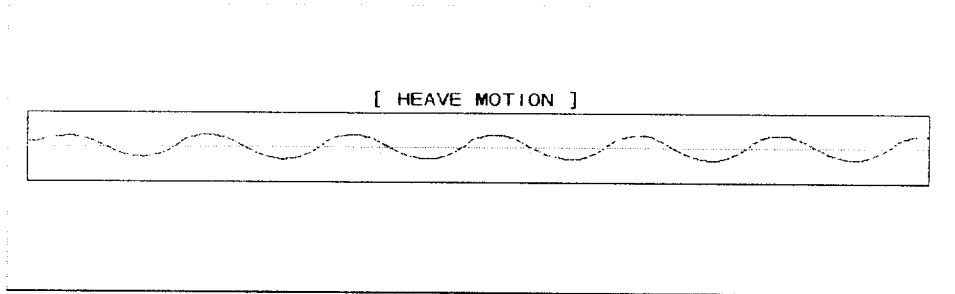


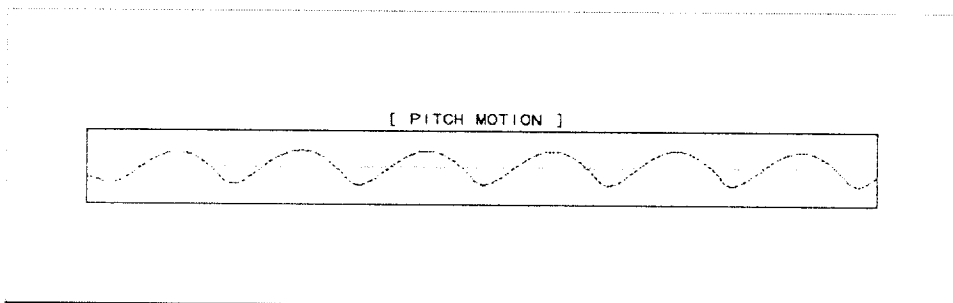
Fig. 18 Zarnick Program 수행을 위한 Input/Output Data

→ Heave Motion : Output을 바탕으로 하여, Heave 운동을 시간에 대해 보여준다.

(여기서, 가로축 한 칸은 0.1초이고, 세로축 한 칸은 1meter 이다.)

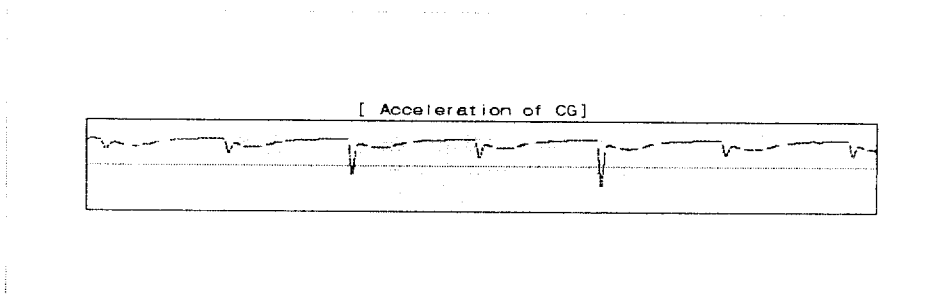


→ Pitch Motion : Output을 바탕으로 하여, Pitch 운동을 시간에 대해 보여준다.

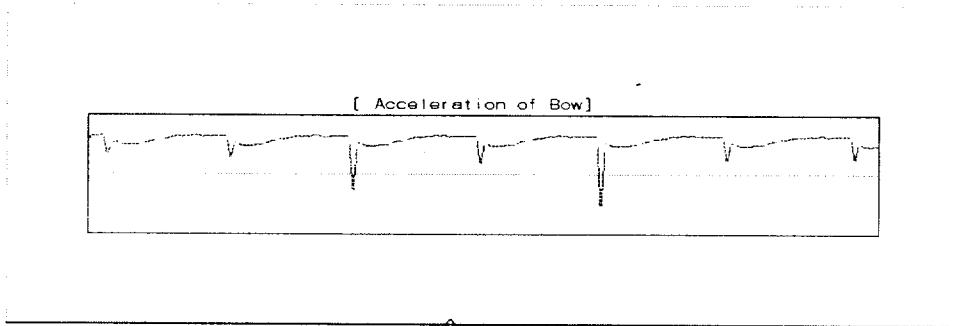


→ Acceleration of CG : Output을 바탕으로 하여, CG에서의 가속도를 시간에 대해 보여준다.

(가로축 한칸은 0.1초, 세로축 한칸은 1m/s 이다.)



→ Acceleration of Bow : Output을 바탕으로 하여, 선수에서의 가속도를 시간에 대해 보여준다.



7.4.2 기본적으로 입력된 선박

미리 입력해두었던 선박은 일본의 '선의 과학'과 기존의 실적선 몇 척에 대한 Data를 바탕으로 기본적으로 한 개 또는 두 개의 Chine Line을 가지는 선박에 대해 5개의 선형을 미리 결정해두었다. 기본적인 선형은 Fig.18, 19, 20에 나타나 있다.[15][16][17]

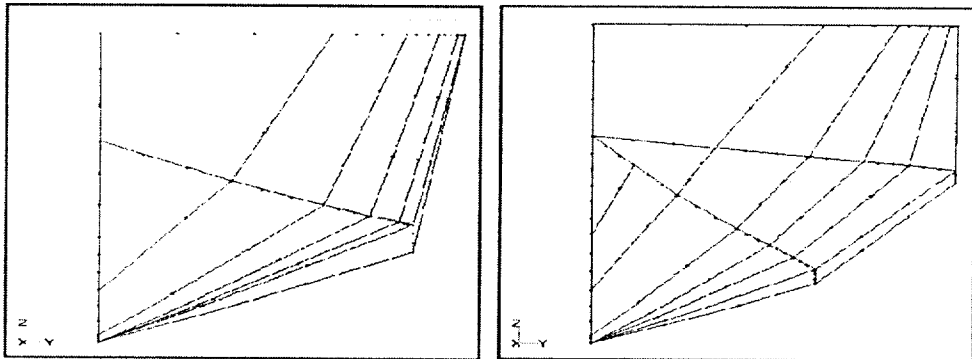


Fig. 23 기본적으로 입력된 선형들(1)

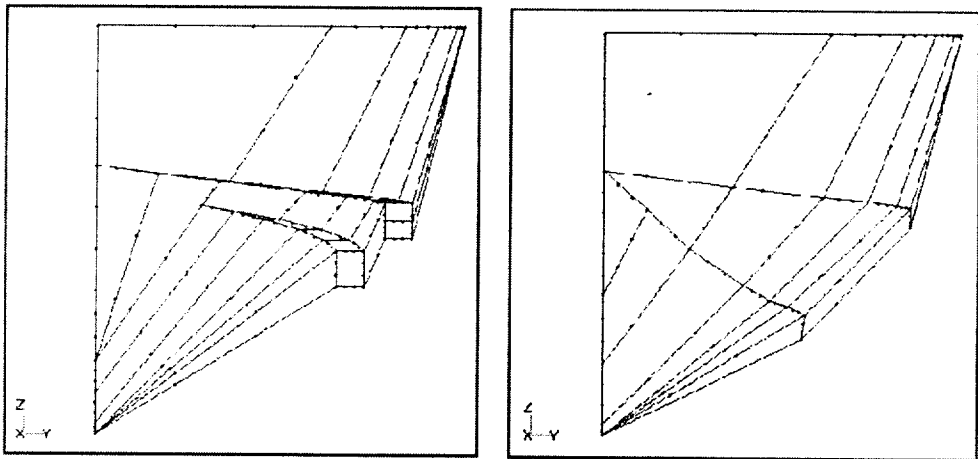


Fig. 24 기본적으로 입력된 선형들(2)

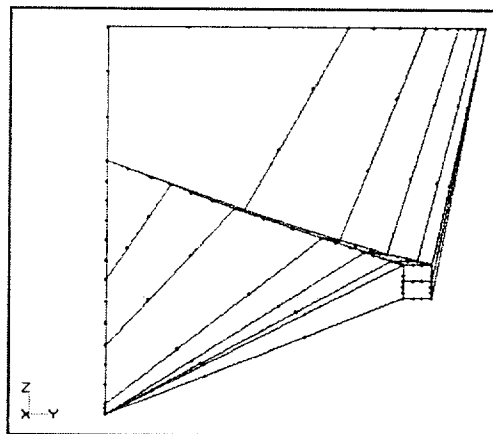


Fig. 25 기본적으로 입력된 선형(3)

7.4.3 입력되어 있는 선형의 데이터 구조(Fig.25 선형 데이터)

PHULL0000 // New File인지 Load File 인지를 구분. Load의 경우 PHULL0100이다.

20.0 // LOA

19.0 // LBP

4.0 // Breadth

1.4	// Depth
0.7	// Draft
8.8	// LCG
2.0	// VCG

32	// Vertex의 개수
0 0.0 2.2 2.29	// 각 Vertex의 좌표점 (Vertex No. , x , y , z)
1 1.5 2.2 2.29	
2 10.0 2.2 2.29	
3 12.0 2.1519 2.29	
4 13.5 2.0410 2.29	
5 15.0 1.8472 2.29	
6 17.0 1.3967 2.29	
7 20.0 0.0 2.29	
8 0.0 1.89 0.8	
9 1.5 1.89 0.7	
10 10.0 1.89 0.9	
11 12.0 1.8081 0.9228	
12 13.5 1.6333 0.9631	
13 15.0 1.3535 1.0372	
14 17.0 0.7959 1.2138	
15 19.0 0.0 1.5	
16 0.0 1.73 0.8	
17 1.5 1.73 0.7	
18 10.0 1.73 0.9	
19 12.0 1.6579 0.9235	
20 13.5 1.5011 0.9720	
21 15.0 1.2479 1.0489	

22 17.0 0.7368 1.2219

23 1.5 0.0 0.0

24 10.0 0.0 0.0

25 12.0 0.0 0.0

26 13.5 0.0 0.0

27 15.0 0.0 0.0614

28 17.0 0.0 0.4099

29 18.0 0.3684 1.3609

30 18.0 0.0 0.8

31 18.5 0.0 1.15

21

// Surface의 개수

0 8 9 1

// Surface를 구성하는 Vertex No.

1 9 10 2

2 10 11 3

3 11 12 4

4 12 13 5

5 13 14 6

6 14 15 7

8 16 17 9

9 17 18 10

10 18 19 11

11 19 20 12

12 20 21 13

13 21 22 14

14 22 29 15

17 23 24 18

18 24 25 19

19 25 26 20

20 26 27 21

21 27 28 22

22 28 30 29

29 30 31 15

III. 결론

본 논문에서는 기존의 활주형 선박의 좌표점들을 이용하여, 선형을 이루는 Control Vertex들을 생성하여 기준이 되는 선박의 데이터 포맷을 Vertex들만으로 새로이 만들어 작업의 단순화 및 작업시간의 단축을 꾀하였다. 또한 선형 생성 후 바로 Running Attitude 및 Motion Calculation이 가능하게 하여 설계하고 있던 선형의 좋고 나쁨을 바로 알 수 있으며, 또한 나쁜 선형이라 판단될 경우 재작업(Redesign)이 용이하게 하였다. [1][2]

김의 프로그램 등과 현재 Internet에서 접할 수 있는 활주형 선박에 대한 설계 프로그램과 본 논문의 프로그램을 비교를 한다면, 먼저 선형의 생성에 있어 데이터 좌표를 화면상 생성하여 점, 곡선, 곡면 순으로 선형을 생성한다는 것이다. 또한, Internet에서 접할 수 있는 프로그램들을 살펴보면, 미리 만들어진 선형에서 단순히 Motion Calculation만이 가능한가 아님 선형만을 생성하고 그 뒤 유체역학적인 성능 검토는 생략되어 있는 것이 대부분이다.

일반적으로 활주형선의 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 대비책을 마련할 수 있을 뿐더러, 최근 어려움을 겪고 있는 중소형 조선소의 설계능력 향상에 도움을 줄 수 있을 것이다.

IV. 참고문헌

- [1] 황종홀, “활주형 고속정의 횡파 중에서의 순항시의 운동성능 계산 프로그램의 개발”, 대한조선학회지, 1980 v.17, p.30~p.45
- [2] 김형민, “GUI를 이용한 Planing Hull 설계 프로그램 개발”, 부경대학교 석사학위논문, 1997
- [3] 대한조선학회, “조선해양공학개론”, p.87~p.90
- [4] 이귀주 외 “활주선형 고속어선의 단면형상 및 장-폭 비와 성능과의 관계에 대한 연구,” 한국어업기술학회지, 34(3), 1998
- [4] 기본조선학 p.566~p.573
- [5] Byoung K. Choi, “Surface Modeling for CAD/CAM”, Korea Advanced Institute of Science and Technology, 1991
- [6] David F. Rogers, “Mathematical Elements for Computer Graphics”, McGraw-Hill Publishing Company, 1990
- [7] 윤태경, “선체외판모델링을 위한 CAD 시스템 개발”, 부경대학교 석사학위논문, 1997
- [8] Daniel Savitsky, “Overview of Planing Hull Developments”, HPMV '92 Proceeding, Washington, D. C., 1992
- [9] Ernest E. Zarnick, “A Nonlinear Mathematical Model of Motions of A planing boat in regular waves”, DTNSRDC-78/032, 1978
- [10] 이형배, “이형배의 Visual C++ 6.0”, 사이버출판사, 1999
- [11] 김용성, “Visual C++ 6.0 완벽가이드”, 영진출판사, 2000
- [12] 박성우, “영업설계를 위한 기본설계통합시스템”, 부경대학교 석사학위논문, 2001
- [13] Daniel Savitsky, “Hydrodynamic Design of Planing Hulls”, 1964
- [14] Richard H. Akers, “CAD/CAE Tools for Planing Hull Design And Hull Performance Validation”, Department of Naval Architecture and Marine Engineering, The University of Michigan, 1995
- [15] 이근무, “Chine Line이 있는 소형어선의 유효마력 추정법 및 최소저항을 갖는 선형 요소들의 최적화에 관한 연구”, 한국어업기술학회지, 30(4), 1994
- [16] 제병렬 외, “고속정의 선형 특성에 관한 연구”, 대한조선학회 1999년도 학술대회논문집, p.125~p.132

- [17] 이귀주 외, “총톤수 100톤급 활주형 선의 저항성능 개선에 관한 연구”, 대한조선학회 1998년도 학술대회논문집, p.61~p.66
- [18] R. W. L Gawn, “Historical Notes on Investigations at the Admiralty Experiment Works, Torquay,” INA, vol. 83, 1941.
- [19] Eugene P.Clement, “Development and Model Tests of an Efficient Planing Hull Design”, DTNSRDC Report No.1314, 1959
- [20] Eugene P.Clement, “Reduction of Planing Hull Boat Resistance by Deflection of Whisker Spray”, DTNSRDC Report No.1929, 1964
- [21] A McInnes, “Some Hull Construction Aspects of Small Patrol Boats”, FAST '91 Proceeding, Trondheim, 1991

감사의 글

우선 미흡한 저를 학부와 대학원 전 과정 동안 많은 가르침과 아낌없는 사랑을 베풀어 주신 조선해양시스템공학과 모든 교수님께 감사드립니다. 특히, 학부와 대학원 과정 동안 부족한 점 많은 저에게 언제나 따뜻한 웃음으로 올바른 길을 일깨워 주시고 격려를 아끼지 않았으며, 인생을 살아가는 법을 가르쳐주신 지도 교수님이신 김동준 교수님께 진심으로 감사드립니다. 그리고 논문을 심사해 주신 김인철 교수님, 김용직 교수님께 머리 숙여 감사드리며, 폭넓은 지식과 학문의 기초를 닦아주시고 인도해 주신 홍봉기 교수님, 배동명 교수님 그리고 구자삼 교수님께 깊이 감사드립니다.

연구실에서, 곁에서 많은 도움과 프로그래머로써 정신적인 지주였던 윤태경 차장님, 언제나 포근한 웃음으로 대해 주셨던 유병항 선생님, 그리고 언제나 현장의 경험을 간접적으로 가르쳐주신 심상목 과장님께 감사드립니다. 그리고 대학원생의 생활을 몸소 가르쳐주고 유익한 정보를 많이 주셨던 민경철 선배님, 또한 본 논문을 작성하기까지 많은 도움을 주셨던 박성우 선배님, 함께 수많은 밤을 함께 지새웠던 사랑스런 동기 송한이와 연구실 생활동안 제게 도움을 많이 주었던 무열, 준호, 성효, 문희, 은지, 연희, 나까야마에게 고맙다는 말을 전하고 싶습니다. 그리고, 대학원 생활동안 많은 격려를 해 주셨던 배성용 선배님, 하영록 선배님, 김경태 선배님, 신기석 선배님, 이승철 선배님, 김철현 선배님 그리고 손정대, 장수홍군에게도 감사의 말을 전합니다.

저를 낳아주시고 어려운 형편에도 불구하고 공부한답시고 가정에 많이 등한시 했던 철없는 막내를 항상 묵묵히 사랑으로 지켜봐 주시고 지금까지 공부시켜주신 부모님께 진심으로 감사드립니다. 또한, 막내를 위해 아낌없는 성원을 보내주신 형님들과 누님들께도 이 논문을 빌려 감사의 말을 전합니다.

끝으로 취업대신 대학원 진학을 선택하면서 남들처럼 많은 시간 같이 있어주지 못했지만, 항상 곁에서 저를 믿고 지켜 봐주며 용기를 북돋워줬던 사랑하는 희경이에게도 진심으로 고맙다는 말을 전합니다.