

大韓造船學會論文集  
 第 31 卷 第 1 號 1994年 2月  
 Transactions of the Society of  
 Naval Architects of Korea  
 Vol. 31, No. 1, February 1994

## 비대선에서 구상선수 주위 유선의 방향이 선박 저항에 미치는 영향에 관한 연구

홍성완\*, 이귀주\*\*

### A Study on the Effectiveness of Bulbous Bow Streamline to the Ship Resistance for Large Full Form Ship

by

S.W. Hong and K.J. Lee\*

#### 요 약

본 논문에서는 비대선형에서 구상선수의 형상변화가 저항성능에 미치는 영향을 조사해 보기 위하여 구상선수 계열들을 창안하고 이들의 모형시험 결과를 비교 분석한 내용이 기술되었다.

구상선수의 형상을 결정짓는 7가지의 변수를 생각하고 이들을 체계적으로 변화시켜 구상선수 형상변화의 영향을 실험적으로 조사하도록 계획하였다. 총 23개 선형의 모형선을 제작하였으며, 각 선형에 대하여 저항시험, 유선조사시험 및 선측파고 계측시험이 수행되었다. 구상선수의 형상변화와 모형시험 결과와를 상호 비교 분석하기 위하여 유사한 특성의 구상선수들을 모아서 9개 그룹으로 분류하였으며 각 그룹 별 저항성분의 변화 경향을 분석해 본 결과 비대선에서는 형상저항이 전저항에 지배적인 영향이 있음을 확인하였다. 또한 모형시험 결과 및 이의 통계적 분석 자료로부터 비대선에서는 구상선수 주위의 유선의 방향이 저항성분들과 밀접한 관계가 있으며 저항성분들 중에서도 형상저항과 더욱 밀접한 관계가 있다는 사실을 발견하였다.

#### Abstract

This paper presents the results of a comparative analysis of the model test results to investigate the effect of bulbous bow installed on a large full form ship to the ship resistance performance.

Seven parameters related to the shape of bulbous bow were selected and varied systematically to inquire their effects experimentally. A total number of twenty-three ship models

---

발 표 : 1993년도 대한조선학회 춘계연구발표회(1993. 4. 17)

접수일자 : 1992년 12월 14일, 재접수일자: 1993년 5월 17일

\* 정회원, 인하대학교 선박해양공학과

\*\*정회원, 현대선박해양연구소

with different bulbous bow were manufactured, and resistance tests, flow visualization test, and wave profile measurement were carried out for each model. For the comparative analysis between the various bulb forms and their model test results, bulbous bow forms are classified into nine groups according to their form characteristics.

From the analysis of the trend of the resistance components, it was verified that form resistance has dominant effect on the total resistance of a slow full form ship.

The model test and its statistical analysis showed that the direction of streamlines around bulbous bow has close relationship with resistance components, especially with form resistance

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경

구상선수가 주선체로부터 발생된 선수파를 감소시키는 작용을 하여 선박의 저항 성능을 개선 시킨다는 것은 이미 잘 알려져 있다 [1][2][3]. 이제까지 비교적 조파저항이 큰 중 고속선에서는 구상선수 효과가 연구되어 설계에 응용되었으나[4][5] 이는 주로 길이에 비하여 폭이 작은 선형에 대한 연구이었으므로 상대적으로 폭이 크고 비대한 선형에 적용하기 적합하지 않다.

따라서 비대선형에 관하여서는 좀더 새로운 분야의 연구가 필요하게 되었다.

저속 비대선형의 구상선수는 주선체로부터 발생된 파를 소멸시키는 효과 보다는 선체주위 흐름의 방향이나 자유수면하에서 선수 주변의 압력을 변화시켜주는 효과가 더욱 크다고 알려져 있다[1]. 즉, 구상선수 형상이 형상저항과 밀접한 관계가 있을 것임을 암시하고 있으나 이와 같은 관점에서의 체계적이고 구체적인 연구 분석이나 결과의 분석과 규명에 대한 연구는 현재까지 미흡한 실정이다.

구상선수의 형상을 정의하는 식들은 여러 연구 [5][6][7]에서 발표되어 있다. 이들 식들에서 쓰여지고 있는 주요 변수들을 변화시켜 구상선수의 주요 형상 특성을 바꾸어주고 그 영향을 실험적으로 조사 하였다. 저항성능면에서 일차적 관심 사항은 전저항이 된다. 저항의 성분면에서는 저속선이기 때문에 조파저항은 크게 중요치 않으며 마찰저항은 침수 표면에 비례하기 때문에 형상저항이 주요한 성분이 된다. 따라서 전저항을 모형시험으로 구하고 이로부터 저항성분들을 산출하여 비교 분석을 수행하였다. 또한 비대선에서의 구상선수주위의 흐름의 방향과 저항성분, 특히 형상저

항과의 관계를 깊이조사하게 되었다.

### 1.2 연구의 개요

#### 1.2.1 구상선수의 형상 매개변수 (Form Parameter)

구상선수를 형상 매개변수에 의한 수식으로 정의하고 이수식에 의하여 재화중량 17만 톤급의 유조선이나 산적화물선 크기 선형과 유사한 크기의 선미가 같은 구상선수 선형을 23척 계획하였다. 이 형상 매개변수들은 구상선수의 측면의 형상(profile)을 결정해 주는 3개의 변수 즉, 배의 반 길이에 대한 구상선수의 길이 비(Bulb Length Ratio: BL), 홀수에 대한 구상선수 끝단 높이 비(Bulb Nose Height Ratio: BH) 및 구상선수 상부 형상 조절 계수(Top Side Control Coefficient: TC) 등이며 단면형상을 결정해 주는 4개의 변수 즉, 선수수선(Fore Perpendicular: FP)에서의 중앙단면적에 대한 구상선수의 단면적 비(Bulb Sectional Area Ratio: BA), 구상선수의 종방향 파급 계수(Bulbous Bow Longitudinal Conjoining Coefficient: BBLC), 구상선수의 수직방향 파급 계수(Bulb Vertical Conjoining Coefficient: BVC) 및 구상선수의 하부 단면 형상 조절계수(Bulb Bottom Shape Control Coefficient: BBC) 등의 변수들이다. 관련 수식들은 본 논문의 2장에 정리하였다

#### 1.2.2 구상선수 계열

구상선수의 선형 매개변수들을 이에 의해 결과적으로 생성되는 구상선수의 형상이나 크기가 실존하는 선박들과 크게 벗어나지 않는 범위내에서 변화시켰다. 이 선형들을 체계적으로 비교 분석하기 위하여 9개의 그룹으로 나누었으며 이는 체적 변화 계열(V Series),

벌브 길이 변화계열(L Series), 잠긴 깊이 변화 계열(D Series, DV Series), 주선체와 구상선수의 연결부 계열(P Series) 그리고 단면 형상 계열(S Series) 등이다. 각 계열들에 대한 상세한 내용은 3장에 기술하였다.

1.2.3 형상 매개 변수와 저항성분의 관계

수식에 의하여 생성된 구상선수 선형의 구상선수 선형 매개변수와 선박의 저항특성과의 관계를 조사해 보기 위하여 만재상태에서의 저항시험, 유선조사시험 및 선측파고 계측시험이 수행되었으며 저항시험 결과를 조파저항과 형상저항의 두가지 저항 성분으로 분리하였고 이 각 저항성분들과 유선의 방향이나 선측파고와의 관계 유무를 조사하였다. 특히 구상선수 주위에서의 유선의 방향에 대하여 중점적으로 분석하였으며 이로부터 유선의 방향과 저항성분들과의 관계를 규명하기 위한 실험 결과의 분석과 통계해석 이론적용을 병행하였다. 실험내용 및 결과에 대해서는 4장에 언급하였고 상관분석에 관하여는 5장에 기술하였다.

1.2.4 종합분석

계열 그룹 별로 모형시험 결과를 분석하여 최적 형상매개변수 값을 선정하였으며 선정된 최적 변수 값에 의해 설계된 구상선수와 최적 유선각을 가지는 구상선수의 두 선형에 대하여 모형시험을 수행하였고 그 결과를 6장에서 종합적으로 비교 분석하였다.

2. 구상선수의 수식적 표현

2.1 기본 좌표계

선체형상을 정의하기 위하여 선체 중앙 수선면에 원점을 두는 우수직교 좌표를 사용하였다. 길이 방향을 x축으로 하고 선체 중앙으로부터 선수 수선까지의 길이로 무차원화 하였다. 폭 방향을 y축으로 하였으며 반폭으로 무차원화 하여 나타내었다. 그리고 깊이 방향을 z축으로 하고 흘수로 무차원화 하였다.

따라서 FP는(1, 0, 0)으로 표시되며 선체 중앙부에서의 기선은(0, 0, 1)으로 나타나게 된다. 그리고 선체 중앙부에서의 우현은(0, 1, 0)으로 표시된다.

2.2 측면형상의 정의

측면형상은 (2-1)식과 같이 정의하였다.

$$X = \left[ \frac{(A_1 - BGC)\ln(1-Z)}{4[(A_1 - BGC)\ln(1-Z) - 1]} \right] - 0.8Z + 1 \quad (2-1)$$

여기서  $A_1$ 은 구상선수 선단의 깊이  $Z_n$ 에 의하여 정의되는 값으로(2-2)식과 같이 표현된다.

$$A_1 = 0.6 - 0.11(Z_n + Z_{n^2} - Z_{n^3}) \quad (2-2)$$

(2-1)식에 표시된 BGC 값은 (2-3)식과 같이 표시되는 값으로 구상선수의 측면형상을 정의하는 역할을 하게 된다.

$$BGC = -C(1-Z)^D \left[ 1 - E \frac{2Z(1+TC)}{1-Z} \right] \quad (2-3)$$

(2-3)식에서 C, D, E는 상수 값으로서 구상선수 선단의 좌표  $N(X_n, Z_n)$ 에 의하여 결정되게 된다[8].

TC는 구상선수의 측면형상(profile)에서 상부의 높고 낮음을 결정하는 계수이다.

이들 식에서  $X_n$ 을 바꾸어 주면 구상선수의 길이 변화에 따르는 형태 변화를 조사할 수 있으며  $Z_n$ 을 변화시키므로 구상선수의 잠긴 깊이의 변화에 따른 구간의 형상 변화를 알아 볼 수 있게 된다. 또한 TC를 변화시키므로서 선수 선단과 수면사이에서의 형상 변화를 알아 볼 수 있게 된다.

2.3 구상선수 선형

구상선수의 설계에서는 기준이 되는 일반 선형을 먼저 결정하고 기준선형에 적합한 구상선수를 결정하는 방법을 택하게 된다.

따라서 기준 선형의 수선면의 형상은 구상선수로 선수 형상이 바뀌게 되면 자연히 변화하게 된다.

구상선수의 채택으로 인하여 수선면의 형상변화 특성을 Fig.2.1과 같이 표시하기로 하자.

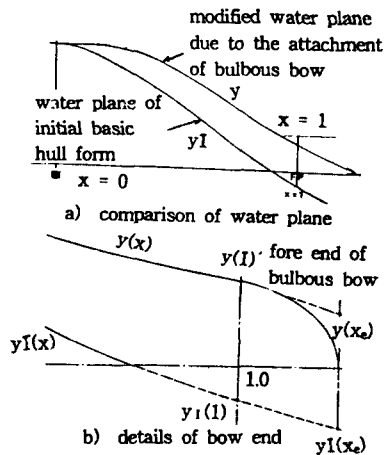


Fig. 2.1 Generation of bulb shape on water plane

곡선  $y_1$ 는 기준 선형의 구상선수 근처에서의 수선면 형상을 나타내는 곡선이라고 생각하면 선수 수선위치에서는  $y_1(x)$ 가 음의 값을 가지게 된다.

기준선형을 구상선수 선형으로 바꾸어 주게 되면 수선면의 형상은 곡선  $y(x)$ 와 같이 바뀌게 되며 통상의 구상선수선형에서는 선수 수선 위치에서 양의 값을 갖고 선단에 이르러 원호를 이루며  $x$  축과 만나게 된다. 기준선형의 수선면 형상이 먼저 결정되고 이로부터 구상선수 선형으로 바뀌게 되면 선수부 수선면 형상도 변화하게 되는 성질을 이용하여 수선면 형상을 정의하면 (2-4)식과 같이 표시된다.

$$y(x) = y_1(x) + (y(1) - y_1(1)) \left( \frac{1 - y_1(x)}{1 - y_1(1)} \right)^f \quad (2-4)$$

여기서,

$$f = A \cdot \left\{ 1 + \frac{\left( 1 - \frac{1 - y_1(x)}{1 - y_1(1)} \right) \left( A - \frac{1 - y_1(x)}{1 - y_1(1)} \right)}{2} \right\}$$

$$A = \frac{Y_1(x_e)}{\{y(Bh) - y_1(Bh)\} + \frac{BBLC}{2} \{y(x_e) - y_1(x_e) - y(1) + y_1(1)\}}$$

이 식에서  $x_e$ 는 구상선수의 측면형상을 (2-1)식으로 구하여 얻어진 값으로 수선면의 선단의  $x$  좌표이다. 따라서  $y(x_e)$ 는 수선면의 형상이 선단 근처에서 원호로 바뀌지 않는다고 생각하며 곡선을 연장하여 선단 위치에서의 반쪽으로 택한 값이다. 또 기준선형에서도 수선면 형상을 반대쪽 현까지 연장하여 구한 선단 위치에서의 가상적 반쪽을 구하고 이를  $y_1(x_e)$ 라 한다.

그리고 이 식에서 사용되고 있는 BBLC는 기준선형에 적정 크기의 벌브를 붙이고저 할 때 벌브로 인하여 수선면의 형상을 순정 시켜주는 값으로서 BBLC가 정하여지면 기준선형의 수선면 형상의 깊이 방향 변화 및 구상선수의 측면형상의 변화에 따라 구상선수선형이 결정되므로 Fig.2.1에 주어진 것과 같이 BBLC 변화에 따라 수선면의 형상이 변화하는 것을 염두에 두고 BBLC 값을 선정하게 된다. (2-4)식으로 구상선수 형상을 정의하는 경우에는 구상선수의 횡단면의 형상은 일정한 형태를 갖게 된다.

$y(x_e) - y_1(x_e)$  및  $y(Bh) - y_1(Bh)$  값은 각각 (2-5)식 및 (2-6)식과 같다.

$$y(x_e) - y_1(x_e) = BA \cdot e^{-\left\{ \frac{0.5 + BVC + \left( \frac{1 - 0.25BBC}{z_n} \frac{0.5 + BVC}{(1 - z_n)^2} \right)^2 \right\} \frac{1 - z}{z}} \quad (2-5)$$

$$y(Bh) - y_1(Bh) = 0.5 + \{y(x_e) - y_1(x_e)\} + 0.2Z^3 + X \quad (2-6)$$

(2-5)식으로 주어지는  $y(x_e) - y_1(x_e)$ 는 구상선수의 단면형상을 정의하여 주는 값으로서 상수 계수 BVC와 BBC에 따라 단면의 형상이 바뀌게 되며 (2-6)식은  $Z_n$ 에서 벌브가 있을 때와 없을 때의 폭의 차이이다.

### 3. 구상선수 계열의 구성

#### 3.1 구상선수의 형상특성

구상선수의 설계에서 중요시 되어온 것은 설계 개념의 출발점이 이상유체이론에 의한 조파저항 감소에 있었기 때문에 구의 크기, 잠기는 깊이 그리고 선수로부터 떨어진 거리 등이었다.

따라서 실험적인 방법이나 이론적인 방법에 의하여 구의 적합한 크기와 위치를 찾는 것이 설계의 핵심이 되어 왔으며 구와 주선체를 연결하는 것은 경험에 입각한 단순 순정 작업으로 생각되어 왔다.

그러나 선박이 저속화 되었을 때에는 조파저항 보다는 점성으로 인한 저항성분이 중요하게 된다. 저속 비대선에 구상선수 선형을 채택하여도 저항감소가 나타나므로 인하여 선수형상이 점성저항에 영향을 주는 것을 인식하게 되었다. 따라서 최근에는 주선체와 구를 연결하여 주는 부분의 형상에 대한 검토가 필요하게 되었다.

저속 비대선에서는 수송 특성상 경하상태의 중요성이 새로이 대두되었으며 단면 형상으로 인한 영향이 연구의 대상이 되게 되었다. 즉, 저속 비대선의 최적 구상선수를 얻기 위하여서는 다음의 다섯가지가 검토되어야 한다.

- 1) 구의 체적
- 2) 구의 잠긴 깊이
- 3) 구의 길이
- 4) 구와 주선체의 연결
- 5) 구의 횡단면 형상

### 3.2 구상선수 계열

따라서 형상 특성을 변화시켜 주는 인자들을 바꾸어 가며 계열모형을 만들고 실험적 방법으로 저항성능에 미치는 영향을 확인하는 방법이 필요하게 된다.

모든 형상인자의 변화를 모형으로 제작하여 실험적으로 확인하는 것은 사실상 불가능하므로 다음과 같은 최소한의 모형을 제작하여 그 영향을 조사하고 그들의 종합적인 특성을 통계적으로 살펴보기로 하였다.

#### 3.2.1 구의 체적 변화 계열 (V Series)

구상선수가 기준선형에 붙여지는 단순한 경우에도 선도의 순정작업으로 선도 자체의 변화가 나타나게 되어 이론적 방법으로 검토되던 구의 크기를 선체 선도만으로는 알아보기 어렵게 된다. 그러나 구의 체적을 형상 매개변수에 의해 결정되는 상수  $f_1$ 을 포함하는 식 (3-1)과 같이 표현한다면 크기의 비교를 단순화 할 수 있을 것이다.

$$v = f_1 \times a \times \ell \quad (3-1)$$

$a$  : FP에서의 구상선수의 횡단면적

$\ell$  : FP로부터 구상선수의 선단까지의 거리

이와 같은 표현식을 사용하여 형상 매개변수 값들을 일정하게 하고 구의 길이를 변화시키지 않는다면 체적 변화를 나타내는 특성은 구의 횡단면적만에 의해 결정되므로 체적변화 모형계열의 결정에서는 구의 횡단면적과 선체중앙단면의 면적(AM)의 비( $C_{BA}$ )로 체적변화를 무차원화 하여 변화를 쉽게 알 수 있도록 하였다.

$$C_{BA} = (a / AM) \times 100 \quad (3-2)$$

V 계열에서 구상선수 크기의 지표가 되는 FP에서의 횡단면적은 저속 비대선에서 통상적으로 10% 내외의 값이 사용되고 있으므로 이를 포함하도록  $C_{BA}$ 를 5, 9, 13, 17로 바꾸어 주도록 하였다.

#### 3.2.2 구상선수 길이 변화계열 (L Series)

구상선수의 길이는 구의 횡단면적과 함께 구상선수의 크기를 결정하기도 하지만 구상선수에서 발생하는 파도와 선체에서 발생하는 파도의 위상을 바꾸어 주게 되므로 조파저항에 영향을 주게 된다. 저속 비대선인

경우에 있어서는 구상선수로 인하여 선수 주위의 유선의 방향이 바뀌게 되고 이로 인하여 보오텍스의 발생 및 박리 현상이 생겨 유동 특성이 바뀌게 된다.

이와 같은 선체 주위의 유동 특성 변화는 선박의 형상저항에도 영향을 주게 될 것으로 판단된다. 따라서 이를 확인하기 위하여 구상선수의 길이를 바꾸어 준 구상선수 계열(L계열)을 설정하였다.

#### 3.2.3 잠긴 깊이 변화 계열 (D Series, DV Series)

구상선수의 수면하로 잠긴 깊이는 조파현상에 1차적으로 영향을 주게 된다. 그리고 구상선수를 붙여 주게 되면 선수부 선저의 빌지 반경을 바꾸어 주게 되어 선저를 지나는 빌지 보오텍스의 발생시기 및 박리 위치등에 영향을 주게 되므로 형상 저항에도 깊은 관련성을 갖게 된다. 이와 같은 특성으로 인하여 잠긴 깊이 변화는 매우 중요하게 저항성능에 영향을 주게 된다.

#### 3.2.4 주선체와 구상선수의 연결부 계열(P Series)

기본 선형의 선수에 구상선수를 붙여 주는 경우 기본 선형의 선도에 수정이 가하여 지게 된다. 수정이 가하여 지는 범위는 계수 BBLC에 의해 변화하게 된다. 일반적인 설계관행을 염두에 두면 BBLC 값은 기본 선형에 최소의 수정을 가한 경우 -0.2, 그리고 최대의 수정을 한 경우 2.0으로 하여 다른 계수들과 조화를 이루도록 적절히 결정하게 된다. BBLC의 변화 즉, 선도 순정 작업 범위와 같은 국부적 형상변화가 저항성능에 미치는 영향을 조사하기 위하여 4척의 모형선을 제작하였다.

#### 3.2.5 단면형상 계열 (S Series)

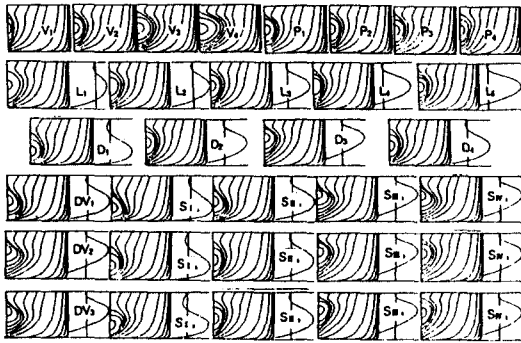
저속 비대선형에서는 운항 조건이 한쪽 항로는 만재상태이고 다른 한쪽 항로에서는 경하상태가 되어야 하는 경우가 대부분이다. 따라서 설계 초기 단계로부터 흘수 및 과도한 자세 변화가 수반되더라도 저항성능에 영향이 최소한이 되도록 선수 형상을 결정지어야 하는 경우가 대부분이다.

따라서 구상선수의 횡단면적을 동일하게 유지하면서도 체적중심의 위치를 상하로 이동시켜 그 영향을 확인 하는 것이 대단히 중요하다. 이를 확인하기 위하여 잠긴 깊이를 일정하게 하며 단면형상이 서로 다른 계열 모형선을 설정하였다.

구상선수 계열들의 특성을 Table 3.1에 그리고 형상은 Fig.3.1에 보인 바와 같다.

**Table 3.1. Nondimensionalized geometric coefficients of the bulbous forms tested**

Para(%)	V1	V2	V3	V4	L1	L2	L3	L4	L5	D1	D2	D3	D4	DV1	DV2	DV3	P1	P2	P3	P4	SI <sub>1</sub>	SI <sub>2</sub>	SI <sub>3</sub>	SI <sub>4</sub>	SI <sub>5</sub>	SI <sub>6</sub>	SI <sub>7</sub>	SI <sub>8</sub>	SI <sub>9</sub>	SI <sub>10</sub>	SI <sub>11</sub>	SI <sub>12</sub>	SI <sub>13</sub>	SI <sub>14</sub>	SI <sub>15</sub>	SI <sub>16</sub>	SI <sub>17</sub>	SI <sub>18</sub>	SI <sub>19</sub>
C <sub>BL</sub>	2.84	2.84	2.84	1.42	2.13	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84
C <sub>SH</sub>	50	50	50	50	50	50	50	50	50	49.8	29	50	59	44	44	59	62	49.8	49.8	49.8	49.8	29	29	29	44	44	44	59	59	59	62	62	62	62	62	62	62	62	62
C <sub>SA</sub>	5.0	9.0	13.0	7.9	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	
BBLC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.2	0	0.1	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	



**Fig. 3.1 Configuration of various bulbous forms**

**4. 모형시험 및 고찰**

**4.1 저항시험**

선박의 저항시험은 주로 예인수조에서 실시되어 왔고 회류수조는 유장의 관측용으로 사용되어져 왔으나 최근에 이르러 회류수조내의 유속의 균일화를 위한 다각적인 노력의 결과 계측기기의 정도 향상에 힘입어 2m 내외의 모형선을 이용한 회류수조에서의 저항시험 결과도 정성적으로 설계에 유용한 정보를 제공할 수 있게 되었다. 뿐만 아니라 소형선박에 대하여서는 정량적인 저항시험도 가능하게 되었고 중 대형선박의 경우는 회류수조 시험 결과를 정량적으로 예인수조 시험 결과와 일치시키려는 노력까지 이루어 지고 있다. 선형 개발을 위한 실험적 연구에서는 소형 모형선들을 이용한 계열 시험을 실시하여 저항성능을 정성적으로 판단하므로써 더욱 개량된 선형을 얻고 있다. 이 연구에서도 구상선수 선형의 선수형상 특성의 변화가 저항성능에 미치는 영향을 조사하는 것을 목표로 하였으며, 3장에서 언급한 바와 같이 주요 형상 특성을 변화시켜 모형선들을 제작하고 이들을 회류수조에서 시험

하여 저항성능을 조사하였다. 대상선형은 재화중량 17만톤 급의 유조선이나 산적화물선을 기준으로 하였다 (기준선형 : V1 선형). 기준 선형의 모형선에 대한 주요 치수는 Table 4.1과 같고 모형선의 2m 크기의 폴리우레탄 수지로 제작되었으며 모형선의 19 station에는 10mm 간격으로 2mm 높이의 난류 촉진용 스티드를 부착하였다. 모형시험은 비교적 낮은 속도에서부터 설계 속도 이상까지 실시하였으며 낮은 속도에서 계측된 결과로부터는 Prohaska 법에 의하여 형상계수 및 형상저항을 구하였다. 또한 설계속도에서 계측된 값으로부터는 운항 상태에서의 저항성능의 우열을 판정하는 정보를 얻어 내었다. 계측된 저항시험 결과는 ITTC 방법에 의하여 해석되었으며 1957년도 ITTC 상관 곡선이 사용되었다.

$$C_T = C_F(1+k) + C_W = C_F + kC_F + C_W \quad (4-1)$$

- C<sub>T</sub> = 전저항 계수
- C<sub>F</sub> = 마찰저항 계수
- k = 형상 계수
- kC<sub>F</sub> = 형상저항 계수
- C<sub>W</sub> = 조파저항 계수

**Table 4.1 Geometric Characteristics of Model**

L <sub>pp</sub> (m)	2.000	△ (m <sup>3</sup> )	0.064
LWL (m)	2.034	S (m <sup>2</sup> )	0.994
B (m)	0.319	CB	0.834
D (m)	0.171	CM	0.998
T (m)	0.120	L.C.B (%)	2.573

**4.1.1 구상선수 체적 변화 계열(V 계열)**

구상선수의 횡단면적의 변화가 저항에 미치는 영향을 조사하기 위하여 설정된 V 계열 모형의 설계 속도에 대응되는 Fn = 0.1368 일 때에 대하여 계열 모형들에서의 저항성능의 변화를 Fig.4.1(b)에 도시하였

다.

이 그림에 의하면  $C_T$ 값과 형상저항 값은 구상선수의 횡단면적이 증가함에 따라 감소하다가 다시 증가하는 것으로 나타나있다. 그리고 조파저항은 횡단면적이 증가함에 따라 약간 증가하다가  $C_{BA}$ 가 9% 정도에서부터 감소하는 것으로 나타나있다. 여기서 모형선에서 나타난 전저항 계수의 변화에는 형상저항이 지배적으로 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 형상저항이 가장 작게 나타나는  $C_{BA}$ 값은 13% 정도이고 조파저항은  $C_{BA}$ 가 커질수록 대체적으로 감소하였으며  $C_W$ 변동 폭은  $kC_F$ 의 40% 정도에 불과하였다. 또한  $C_F$ 가 거의 일정하므로  $C_W$ 는  $kC_F$ 의 위상을 바꾸어  $C_T$ 의 변동형태를 결정지어 준것으로 추측해 볼 수 있다. 이상을 종합해 보면 저속 비대선에서 구상선수의 단면적은 형상저항 측면에서 선정되어야 한다.

#### 4.1.2 구상선수 길이 변화 계열(L계열)

구상선수의 길이를 변화시켜 영향을 조사한 L 계열의 설계 속도에서의 저항성분들의 변화는 Fig.4.1(a)과 같다.

구상선수의 길이 변화가 설계 속도에서 전저항 계수  $C_T$ 에 미치는 영향과  $kC_F$ 에 미치는 영향을 비교하면  $C_T$ 와  $kC_F$ 는 같은 위상을 가지고 있으며 변동 특성도 일치하는 것을 확인할 수 있다. 이에 대하여  $C_W$ 의 변동을 보면  $C_T$ 와는 반대 위상에 있음을 알 수 있다. 그런데  $kC_F$ 에 비하여 절대 크기가 훨씬 작기 때문에  $C_T$ 의 최적 크기 결정에는 거의 영향을 미치지 못함을 알 수 있다. 즉, 통상적 중 고속선박의 선수설계에서와는 달리 저속 비대선에서  $C_W$ 의 크기에 관심을 두어 구상선수를 설계하면 구상선수가 잘못 선택될 수 밖에 없음을 나타내고 있다. 따라서 저속 비대선에서는  $kC_F$  최소의 관점에서 구상선수의 길이를 선정 하여야 함을 알 수 있다.

#### 4.1.3 잠긴 깊이 변화 계열(D,DV계열)

구의 수면 하의 잠긴 깊이는 조파저항에 직접적으로 영향을 주는 것으로 알려져 있다. 구의 잠긴 깊이가 선수로부터 시작되는 선체 주위의 유동에 영향을 주게 되므로 형상 저항에도 영향이 나타날 것으로 예측된다. 설계속도에서의 깊이 변화에 따른 저항 성능의 변화를 보이면 Fig.4.1(d)의 그림과 같아진다. 이 그림들을 종합 분석해 보면 구상선수의 잠긴 깊이 변화에 따른  $C_T$  및  $kC_F$  변화는 거의 같은 위상과 변동 특성을 가지고 있으며  $C_W$ 는 반대의 위상을 가지고 있음을

알 수 있다.  $C_W$ 의 절대 크기가  $kC_F$ 의 절반 정도의 크기를 갖고 있기 때문에  $C_T$ 의 크기 결정에는  $kC_F$ 가 절대 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 따라서 구상선수의 잠긴 깊이도 형상 저항을 최소화 하는 측면에서 결정하면 결과적으로 전저항을 최소화 할 수 있을 것이다.

#### 4.1.4 주선체와 벌브의 연결부 계열(P 계열)

구상선수와 주선체 사이의 연결부의 국부적인 형태가 저항의 변화에 미치는 영향을 확인하기 위하여 P 계열을 설정하였으며 이들의 모형시험 결과로부터 설계 속도에서 BBLC가 저항에 미치는 영향을 보이면 Fig.4.1(c)의 그림과 같다. BBLC의 변화가 저항에 미치는 영향을 조사하여 보면 양의 영역에서 BBLC가 증가함에 따라  $C_T$ ,  $C_W$ ,  $kC_F$  모든 값은 감소하다가 증가하게 되어 전저항을 최소로 하는 최적의 BBLC가 존재하는 것을 알 수 있다.  $C_T$ 에 미치는  $C_W$ 와  $kC_F$ 의 기여분을 생각하면 절대량에서는  $kC_F$ 가  $C_W$ 의 2배 정도로 나타나 있다. 이에 대하여 변동 폭은 거의 같은 크기로 나타나고 있다. 음의 영역에서는 BBLC가 감소하면 전저항과 조파저항은 줄어들게 된다. 그러나 구상선수와 주선체 사이의 순정 구간이 작아지게 되어 형상저항면에서는 불리하게 된다. BBLC가 0.2 정도일 때 모든 저항성분들이 최저점이 된 것을 알 수 있으며 이 점을 전후로 하여 저항성분들이 가파르게 증가하는 것으로 나타나므로 연결부의 형상이 저항성분들에 많은 영향을 미치고 있음을 보여주고 있다.

#### 4.1.5 단면형상 계열(S 계열)

선박의 운항 조건의 변화가 예측되는 선형에 있어서는 흔히 구상선수 끝단 높이를 변화시켜 기대되는 재화 상태의 변화에 대비하는 예를 흔히 찾아볼 수 있다. 이와 같은 변화에 대한 체계적 설계 자료를 얻고 구상선수의 국부적 형상변화가 저항성능에 어떻게 영향을 주는지를 확인하기 위하여 선수 형상을 변화시키고 일정한 깊이에서의 구상선수의 단면의 형상을 변화한 계열들에 대하여 모형시험을 실시하였다.

실험 계측된 결과들로부터 단면의 중심의 변화가 설계속도에서 저항성능에 어떻게 영향을 주는지를 조사하여 보면 Fig.4.2와 같은 결과를 얻을 수 있다. 이 그림으로부터 주어진 설계 속도에서의 구상선수 단면의 형상 변화와 높이에 따르는 영향을 조사하면 다음의 사실을 확인할 수 있다.

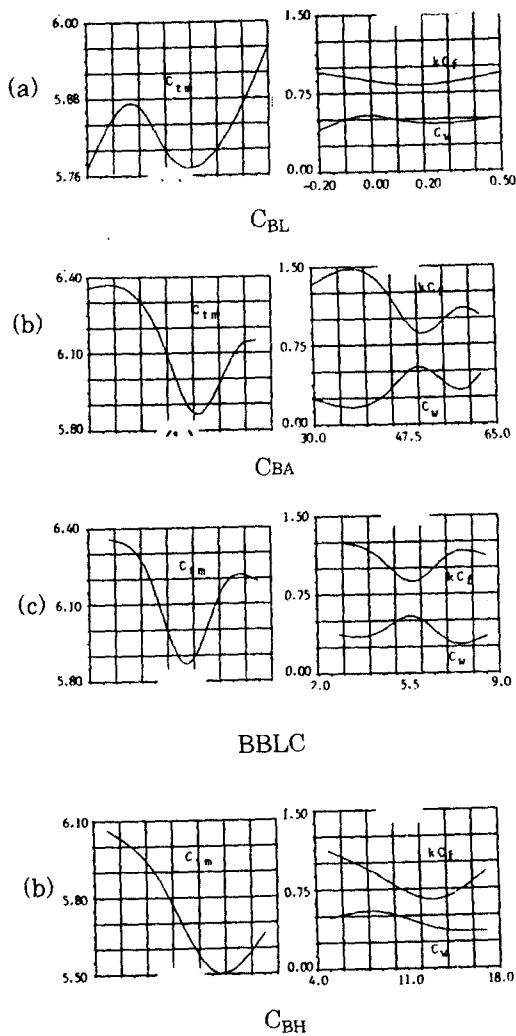


Fig. 4.1 Effect of form coefficients on the Resistance coefficient

- 1) 구상선수 끝단 높이가 높은 경우 단면의 형상이 변화하더라도 형상저항과 전저항은 거의 변화가 없었으며 조파저항은 높이가 낮은 경우( $C_{HB}=0.29$ )와 거의 유사한 변화폭을 보여주고 있다.
- 2) 일정 높이에서 단면형상을 변화시킨 경우에 대한 저항성분들의 변화 경향을 보면 조파저항과 형상저항은 상반되는 경향을 보여주고 있고 전저항은 형상저항과 동일한 경향을 보여주고 있어 형상저항의 변화가 전저항에 지배적인 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

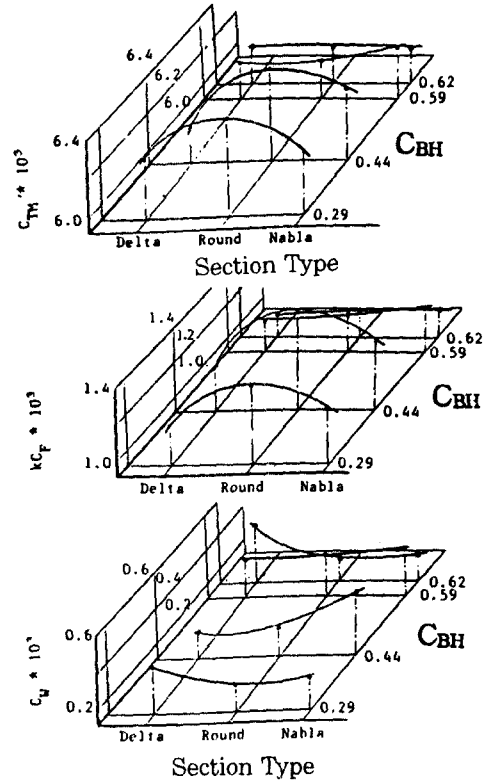


Fig. 4.2 Effect of the Centroid of bulb Section on resistance

3) 종합적으로 저항성능을 비교해 보면 역삼각형 단면과 높은 구상선수 선형이 대체적으로 저항성능이 우수한 것으로 나타났다.

또한 각 높이별 최적 단면형을 저항성분별로 종합 정리해보면 다음과 같다.

저항성분	Zn-1			
	0.29	0.44	0.59	0.62
$C_w$	등근형	등근형	삼각형	등근형
$kC_F$	삼각형	삼각형	삼각형	삼각형
$C_R$	삼각형	삼각형	삼각형	등근형
$C_{TM}$	삼각형	삼각형	삼각형	등근형

상기 Table에서 볼 수 있는 바와 같이 어느 정도 깊이까지는 삼각형 단면이 유리하나 홀수에 가까워지면 등근형 단면이 유리함을 알 수 있다. 또한 삼각형 단면



에 의해 형상저항이 감소하였으며 등근형 단면에 의해 조파저항이 감소되었음을 알 수 있다.

4.2 유선 관측시험

유선관측시험은 실선의 계획속도인 14.0 Kts에서 페인트를 사용하여 수행되었으며 각 그룹 별 유선 관측시험 결과를 정리하여 보면 다음과 같다. 페인트 시험 결과로부터 얻은 구상선수 측면에서의 흘수를 기준으로 한 유선의 각은 Table 4.2와 같다.

Table 4.2 Angle of streamline at the side of bulbous bow

Model	$\theta'$	Model	$\theta'$	Model	$\theta'$
1	26.	9	40.	17	23.
2	30.	10	29.	18	24.
3	25.	11	25.	19	22.
4	23.	12	21.	20	14.
5	25.	13	29.	21	27.
6	24.	14	29.	22	27.
7	28.	15	25.	23	29.
8	37.	16	19.		

4.2.1 V 계열

체적이 클수록 대체적으로 유선이 현저하게 수평방향으로 되었다. Table 4.2의 흐름의 각도를 비교하여 보면 V4-V3-V1-V2의 순으로 흘수에 대한 각도가 적었으며 이 각이 적을 수록 선수부에 압력이 적어질 것으로 추측되고 이러한 현상이 저항도 감소시킬 것으로 생각된다.

4.2.2 L 계열

구상선수의 길이를 연장시킬 수록 유선의 방향은 대체적으로 수평한 방향으로 유도 되었으며 이는 체적의 증가시와 동일한 현상으로 구상선수의 길이의 증가가 선체표면 주위의 유속을 가속시키므로서 발생된 것으로 추측된다.

4.2.3 D, DV 계열

D 계열의 경우 유선의 각( $\theta'$ )과 구상선수의 깊이는 무관하였고 DV 계열은 깊이가 낮을수록 유선 각이 증가하는 것으로 나타났다.

4.2.4 P 계열

구상선수 형상이 주선체로의 연속되는 확산 정도 즉 구상선수의 영향 범위를 변화시킨 P 계열의 경우 B-

BLC 값이 클 수록 흐름의 각도는 대체적으로 점차 감소하였으며 이는 구상선수 형상의 영향으로 흘수 부근의 형상이 오목해 지고 이로 인하여 압력이 상대적으로 낮아져서 물의 흐름의 방향을 흘수 부근으로 유도한 것에 기인한 것으로 추측된다.

4.2.5 S 계열

전반적으로 등근형의 유선각이 대체적으로 작게 나타났다.

4.3 선측파고 계측

선측파고는 만재상태 및 그 계획속도 ( $V_s = 14.0$  kts,  $F_n = 0.1368$ )에서 진 구상선수 변형선에 대하여 계측하였고 계측결과는 Fig.4.3에 각 그룹 별로 부분적으로 비교 도시하였다. 계측된 파고와 저항성분 및 유선각과의 정성적 비교를 위하여 파의 크기(Amplitude)의 적분치, 구상선수의 직접 영향권이며 변화가 가장 큰 18 station 에서 파고,  $C_w$ ,  $kC_F$  및  $\theta'$  값을 계열별로 비교해 보면 다음과 같다.

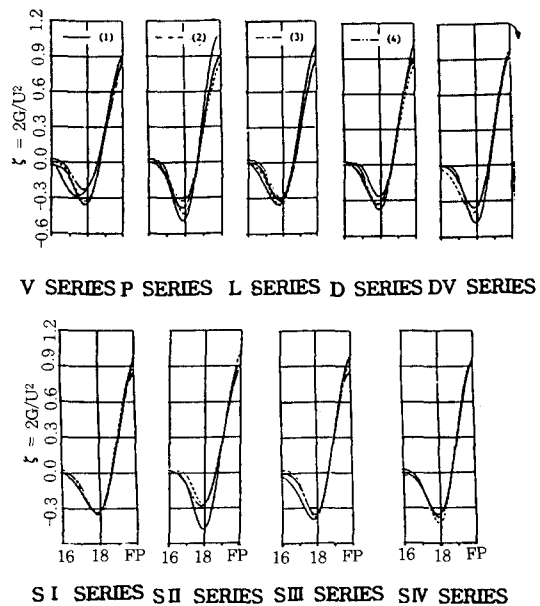


Fig. 4.3 Wave profiles at st. 18

4.3.1 V 계열

체적 변화 계열의 파형과  $kC_F$  및  $C_w$ 와를 비교해 보면  $kC_F$ 의 크기 서열과 18 station에서의 파고의 크기의 서열은 거의 일치하였고  $C_w$ 와는 다소 유사한 경향

을 보이고 있으나 선체 측면 파고의 적분치와  $kC_F$ ,  $C_W$ 와는 전혀 상관성이 없었다.

이러한 결과로부터 저속 비대선에서는 구상선수 체적변화시 종속적으로 나타나는 파의 형상이나 크기 보다는 구상선수 주위에서 초기에 순간적으로 유발되는 파형이 저항성분에 주로 영향을 미치는 것으로 추측해 볼 수 있다.

4.3.2 L 계열

길이 변화의 계열에서도 18 station에서의 파고와  $kCF$  및  $\theta'$ 는 유사하게 변화하고 있다.

4.3.3 D, DV 계열

D 계열은 상관성을 찾을 수가 없었으며, DV 계열의 경우는  $kC_F$ 와 18 station에서의 파고의 서열이 같은 서열로 변화하였다.

4.3.4 P 계열

18 station에서의 파고와  $\theta'$  및  $kC_F$ 와 다소 관계가 있는 것으로 나타났다.

4.3.5 S 계열

$kC_F$ 는 구상선수의 길이 변화와는 변화 경향이 상이하였고 단면형상이 삼각형-역삼각형-등근형의 순으로 단면형상의 변화에 따라 증가하는 경향을 보이고 있다.

4.4 고찰

- 1) 대형 비대선에서 벌브는 형상저항 측면에서 선정되어야 한다.
- 2) 계열별 저항시험 결과를 검토해 보면 대체적으로  $C_T$ 와  $kC_F$ 는 거의 같은 위상과 변동 특성을 갖고 있으며  $C_W$ 는 반대 위상을 갖는 것으로 나타났다.
- 3) 단면형상 변화에 따른 조파저항 곡선들을 보면 조파저항과 구상선수 높이 변화와는 전혀 상관성이 없음을 보여주고 있고 단면의 형상에 따라 전체적으로 등근형 단면의 조파저항의 변화 폭이 다른 단면형들의 변화 폭 보다 범위가 작은 것으로 나타났다.  
한편 형상저항은 높은 구상선수가 적게 나타났다.
- 4) 유선 조사시험 결과를 종합적으로 검토해 본 결과 구상선수 주위 유선의 방향에 영향을 미치는 선형 인자들이 저항성분에도 영향이 있었다는 사실을 확인할 수 있었다.
- 5) 전체적인 파형의 적분치 보다는 구상선수로 인한

초기파형이 저항성분(특히 형상저항)에 더욱 영향이 있다는 사실을 발견할 수 있었고, 이로부터 전체적인 선측 파형 보다는 구상선수 주위의 흐름이 더욱 형상저항에 영향을 미친 것을 추측해 볼 수 있었다.

5. 구상선수의 형상과 저항성분의 상관분석

선박의 저항성능을 모형시험에 의존하지 않고 계산에 의해 추정하는 방법으로는 이론 계산에 의한 방법과 통계해석에 의한 방법등이 있고 본 논문에서 다루고 있는 저속 비대선형에 대한 계산의 경우, 기존의 이상 유체 이론을 이용한 수치계산은 아직까지 정성적이고 추정치만을 주고 있을 뿐 아니라 그 정도도 낮은 반면 통계해석에 의한 방법은 변수의 선정 여하에 따라 어느 정도까지는 정확하게 추정할 수 있는 장점이 있다[8]. 이러한 통계해석 이론을 본 논문의 2,3장에서 언급한 구상선수 형상 매개변수들과 모형시험 결과로부터 얻은 저항계수와의 상관관계를 찾는 도구로 사용하였다.

5.1 상관분석(Correlation Analysis)

두 확률 변수(random variable) x, y간의 상관관계를 알고자할 때에는 두 변수 x, y에 대한 크기 n인 확률 표본(random sample)을 취한 후, 얻어진 n개의 데이터,  $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ 로부터 두 변수간의 선형 관계(linear relationship)를 상관계수(correlation coefficient)로 찾아보게된다[9].

$C_W$ 와 구상선수의 형상계수 간의 상관관계를 알아보기 위해서 상관 계수를 식(5-1)에 의해 계산하였다.

$$r = \frac{S_{xy}}{S_{xx}S_{yy}} \tag{5-1}$$

여기서,  $S_{xx} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$ ,  $S_{yy} = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$

$$S_{xy} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

변수의 선정 및 분석은 각 구상선수 형상매개 변수들이 저항성분에 미치는 영향을 체계적으로 알아보기 위하여 다음의 2단계로 수행되었다.

1단계 : 구상선수의 크기에 관계되는 길이, 높이 및 FP단면에서의 폭을 변수로 선정하여 상관분석을 수행해 본 결과 아래표와 같이 구상선수의 폭이 저항성분들과 상관관계가 가장 강한 것으로 나타났다. 조파저항과의 상관분석에서 세 변수들은 속도의 증가에 따라 상관관계가 점차 증가하는 것으로 나타났다.

상기 표의 수치는 상관계수(r) 값으로 그 범위는  $-1 \leq r \leq 1$  이며 이 값은 구상선수의 크기와 주어진 속도에서의 저항성분들과의 선형관계(linear relationship)를 나타내는 척도이며  $\pm 1$ 에 가까울 수록 관계가 밀접하다고 할 수 있다[9].

저항성분	Fourde 수	속도 (Knots)	길이 (BL)	폭 (BB)	높이 (BH)
조파저항	0.127	13.0	-0.2260	-0.8077	0.2509
	0.137	14.0	-0.2441	-0.8366	0.2447
	0.147	15.0	-0.2525	-0.9144	0.3312
	0.156	16.0	-0.3151	-0.9449	0.3563
형상저항			-0.1766	-0.5349	-0.1127

2단계 : 구상선수의 형상을 변화시키는 계수 BBC, TC, BBLC 및 BVC를 변수로 선정하여 저항성분들과의 속도별 상관분석을 수행해 본 결과 아래 표와 같이 구상선수 형상의 종방향 파급 정도를 나타내는 BBLC가 전속도 범위에서 가장 상관관계가 강하게 나타났으며 다른 계수들은 비교적 비슷한 값을 보여주고 있다.

조파저항과의 상관분석에서 구상선수의 크기에 관계되는 형상 매개변수들은 속도의 증가에 따라 상관관계가 증가한 것으로 나타났으나[1단계] 형상에 관계되는 변수들은 속도와 무관하게 변화하였다[2단계].

저항성분	Fourde 수	속도 (Knots)	하부변형 (BBC)	상부변형 (TC)	길이방향 (BBLC)	높이방향 (BVC)
조파저항	0.127	13.0	0.3285	-0.3815	0.7415	-0.3332
	0.137	14.0	0.3005	-0.4204	0.7840	-0.3037
	0.147	15.0	0.2433	-0.3092	0.6774	-0.3671
	0.156	16.0	0.3887	-0.4619	0.6919	-0.2864
형상저항			-0.1448	0.1389	-0.2753	-0.1605

5. 결론

본 논문에서는 비대선에서 구상선수의 변화가 저항

성분에 미치는 영향에 관하여 조사하였고, 구상선수 주위의 유선의 방향이 저항성분들과 밀접한 관계가 있음을 확인하였다. 연구 결과는 다음과 같다.

1. 벌브 형상 변화에 따른  $C_w$ 와  $kC_F$ 의 변동 특성은 대체적으로 서로 상반되는 경향을 보이고 있으며  $kC_F$ 가  $C_w$ 보다  $C_T$ 에 지배적인 영향을 미치므로  $C_T$ 와  $kC_F$ 는 거의 같은 변동특성을 갖는 것으로 나타났다. 따라서 대형 비대선에서 구상선수는 형상저항이 최소가 되도록 설계되어야 한다.
2. 계열별 모형시험 결과를 분석하여 다음과 같이 저항성능이 우수한 매개변수 값들을 선정하였다.

Bulb Type	TC	BVC	BH	BL	BBLC	BA	BBC
BB1	0	0.2	0.62	0.035	0	0.13	0.1

상기 표에 의한 구상선수 선도(BB1)를 개발하여 모형시험을 수행한 결과(Fig.6.1 참조) Table 6.1에 보인 바와 같이 계획속도에서 조파저항 성능은 전계열 선형중에서 가장 우수하였으나 형상저항과 전저항 성능은 중상(中上) 정도였다.

3. 유선각이 저항성능에 밀접한 관계가 있다는 결론을 확인해 보기 위하여 유선각이 최적이 되도록 통계수식에 의하여 다음 표와 같이 선정하였고 이 값들에 의한 선형(BT1)을 개발하여 모형시험을 수행하여 보았다. 다음 표의 값들은 선도 순정에 무리가 있을 경우 최적치에서 약간씩 조정된 값들이다.

BT1 선형의 모형시험을 수행한 결과(Fig.6.2 참조) Table 6.1에 보인 바와 같이 계획 속도에서 조파저항 성능은 전계열 중에서 중하(中下) 정도였으나 형상저항 및 전저항 성능은 전계열 중에서 가장 우수한 것으로 나타났다.

Bulb Type	TC	BVC	BH	BL	BBLC	BA	BBC
BB1	0.4	1.0	0.29	0.085	0.3	0.11	-4.0

4. Table 6.1과 같이 계획 속도 14.0노트에서 BB1 및 BT1을 포함한 전 구상선수 변형선의 저항 계수를 비교하여 본 결과 BT1이 BB1보다 저항성능이 우수한 것으로 나타났다. 이는  $kC_F$ 가  $C_w$  보다 지배적인 영향을 미친 때문이며 상기 2,3항에서

Table 6.1 Comparison of coefficients and factors at 14.0 Kts

Bulb	V1	V2.L3 D2.Fs	V3	V4	P1	P3	P4	L1	L2	L4	L5	S11	DV2. S11	DV3. S11	DV1. S11	D1 S12	D3. S12	SN2	D4 S12	S13	S13	SN3	S13	BBL	BT1
CTM	6.006	5.862	5.517	5.660	5.769	5.796	5.928	6.352	6.207	6.156	6.188	6.204	6.110	6.144	6.100	6.350	6.135	6.085	6.406	6.282	6.179	6.110	6.288	5.718	5.375
(1+k)	1.250	1.195	1.145	1.208	1.216	1.186	1.206	1.264	1.239	1.237	1.236	1.234	1.231	1.224	1.253	1.272	1.234	1.235	1.316	1.255	1.237	1.228	1.228	1.216	1.092
Cw	0.487	0.535	0.385	0.352	0.388	0.491	0.502	0.366	0.377	0.298	0.351	0.359	0.307	0.468	0.278	0.368	0.340	0.283	0.266	0.303	0.348	0.344	0.467	0.191	0.503
kCp	1.114	0.869	0.651	0.916	0.955	0.831	0.934	1.251	1.126	1.123	1.113	1.110	1.088	1.038	1.174	1.302	1.097	1.106	1.476	1.218	1.119	1.071	1.303	0.976	0.410

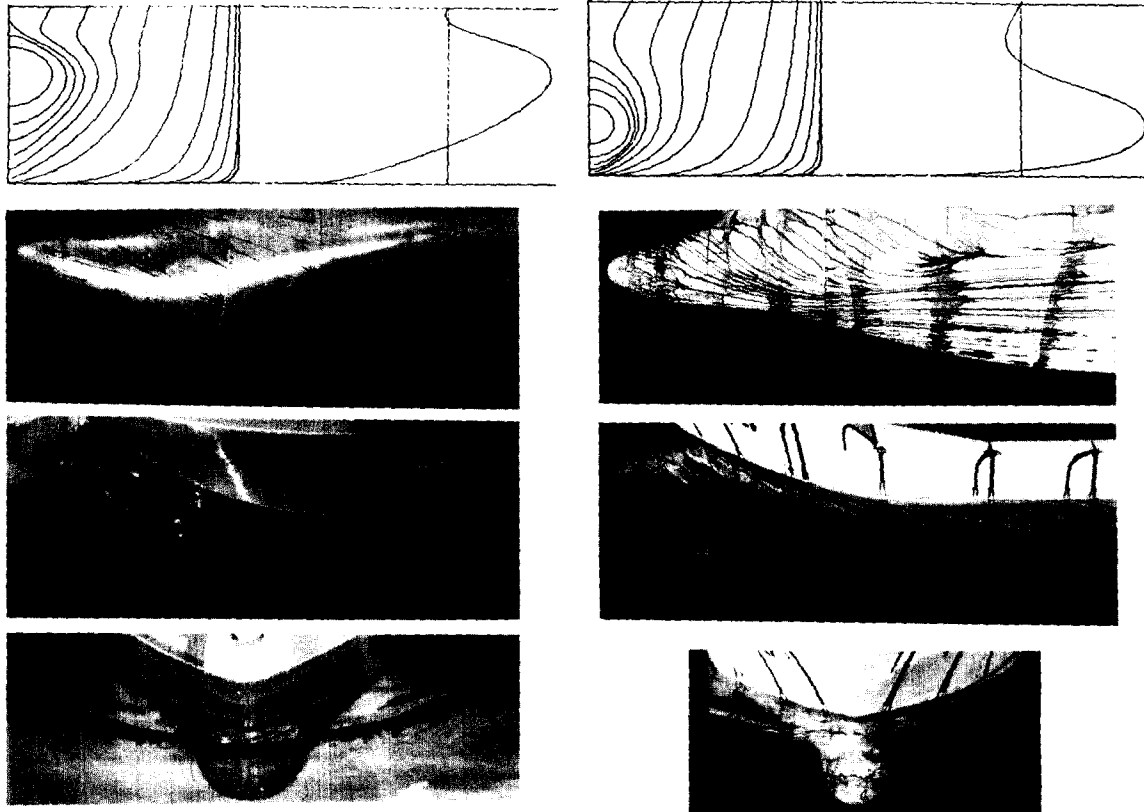


Fig. 6.1 Lines and model test of BBI

Fig. 6.2 Lines and model test of BT1

나타난 조파저항과 형상저항의 상반된 경향은 변수BH, BL, BBC 및 TC의 상반된 값에 기인한 것으로서 이러한 변수 값들을 적절히 선정하므로 kCp 값을 최소화 하면 우수한 선형을 도출할 수 있을 것이다.

5. 저속 비대선에서 구상선수의 변화에 의한 저항성

분의 변화량을 포괄적으로 조사해 본 결과 Table 6.1에서와 같이 구상선수 변화에 의한 최대 Cw의 차이는 CTM에 대비 5.8%(BBI : 3.3%, V2 : 9.1%)이고 kCp의 차이는 15.4%(BT1 : 7.6%, D4 : 23%)로 나타나 kCp의 개선의 폭이 큰 것으로 나타났고 Cw와 kCp를 직접 비교해 보면 BT1

의 경우  $C_W$ 가  $kC_F$ 보다 오히려 컸으며 BB1의 경우는  $C_W$ 가  $kC_F$ 의 20% 정도에 불과 하여 선형에 따라  $C_W$ 와  $kC_F$ 의 차이의 변화가 매우 큰 것을 알 수 있다.

6. 비대선에서 구상선수 주위의 유선각을 최적화 하면 저항성능이 우수한 구상선수 형상을 찾을 수 있다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 홍 성완, 정 태준, "유선 추적법에 의한 구상선수 선형 결정에 관한 연구", 과학 기술처 연구보고서 R-72-12, Dec., 1972.
- [2] 홍 성완, 조 규종, "대형 구상선수에 관한연구", 과학기술처 연구보고서 R-73-15, Dec., 1972.
- [3] A.F. Kracht, "Design of Bulbous Bows", S-NAME Annual Meeting, Nov., 1978.
- [4] Lunde, J.K., "On the Linearized Theory of Wave Resistance for Displacement Ships in Steady and Accelerated Motion", Presented at Summer Meeting of the Society of Naval Architects and Marine Engineering in Washington D.C., Sept., 1951.
- [5] B. Yim, "Some Recent Developments in Theory of Bulbous Bow Ships", 4th Symposium on Naval Hydrodynamics, Office of Naval Research, 1964.
- [6] Kerwin, J.E., "Polynomial Surface Representation of Arbitrary Ship Forms", JSR, Vol.4, 1960, pp.12-21.
- [7] Watanabe, Y., "Mathematical Ships' Lines", *Journal of Zosen Kio Kai*, Vol.77, 1955.
- [8] 홍 성완, 이 귀주, "비대선에서 구상선수 형상 변화에 따른 저항성능 계산 방법의 개선에 관한 연구", 1990 추계 조선학회 발표회 Proceeding, Nov., 1990.
- [9] 김 은찬, "저항 추진성능의 통계추정법과 비대선의 적용", 인하대학교 박사학위 논문, 1990년 2월.