

## 타의 크기가 조종운동시 선미 유동 특성에 미치는 영향

손 경 호\* · 김 용 민\*\*

The Effects of Rudder Size on Characteristics of Fluid Flow around  
Ship's Stern in Manoeuvring Motion

*Kyoung-ho Sohn\* · Yongmin Kim\*\**

〈 목 차 〉

Abstract

- |                                    |                      |
|------------------------------------|----------------------|
| 1. 서론                              | 3. 구속모형시험 및 시험결과의 고찰 |
| 2. 조종운동시의 선미 유동 특성 평가를 위한 운동학적 정식화 | 4. 결론<br>참고문헌        |

### 요 약

1993년 IMO가 채택한 조종성잠정기준에서 요구되는 4가지 항목 중, 특히 비대선박의 경우, 침로안정성이 문제시될 수 있다는 것은 잘 알려진 사실이다. 본 연구에서는 비대선박의 조종운동시 타의 크기에 따른 선미 유동 특성을 조사하기 위해서 회류수조에서 사항상태의 조건 하에 두 종류의 모형실험을 수행하였다. 즉, 첫 번째 실험은 타에 유입하는 흐름의 정류효과 측정에 대한 것이고, 두 번째 실험은 타 상부와 선미오버행 하부 공간 주위의 흐름가시화에 대한 것이다. 실험결과, 타의 크기에 따른 선미 유동 특성과 타에 유입하는 흐름의 정류효과의 상관관계를 규명하였고, 타 상부와 선미오버행 하부의 공간은 침로안정성에 있어서 중요한 역할을 한다는 것을 알 수 있었으며, 특히 타 상부와 선미오버행 하부의 공간이 작을수록 침로안정성이 저하될 가능성이 높다는 것을 확인하였다.

### Abstract

It is well known that, especially in the case of full-bodied ship, the course stability may become the severest among 4 items of requirement in Interim Standards for Ship Manoeuvrability adopted by IMO in

\* 정회원, 한국해양대학교

\*\* 정회원, 한국해양대학교 대학원

1993. The purpose of this study is to find some ideas for characteristics of fluid flow pattern around ship's stern in manoeuvring motion with parameter of changes in rudder size. We carried out two kinds of model experiment in obliquely running condition at circulating water channel. One is measurement on straightening effect of incoming flow to rudder and the other is experiment on flow visualization around the gap between rudder and stern-bottom. We discuss the correlation between the flow characteristics around ship's stern and flow straightening effect at rudder from the viewpoint of course stability. As a result, it is clarified that the gap between rudder and stern-bottom plays an important role in course stability of full-bodied ship. It is pointed out that there is quite a possibility of bad course stability as the gap between rudder and stern-bottom decreases.

## 1. 서 언

최근 선박의 대형화 추세로 기존의 항만이나 수로의 크기가 상대적으로 협소해졌을 뿐만 아니라, 추진효율 향상을 위한 선형개발이 가속화되면서 조종성능이 불량한 선박이 다수 출현하게 되었다. 이로 인해 해난사고의 위험은 날로 증대되고 있으며, 좌초 또는 충돌에 의한 대량 원유 유출 사고에 따른 해양오염 문제가 국내적, 국제적 관심 사안으로 부각되었다[1].

해난사고를 줄이려는 범국제적 노력의 일환으로 유엔 산하 기관인 IMO(International Maritime Organization)의 약칭)에서는 1993년 11월 제18차 총회에서 조종성잠정기준(Interim Standards for Ship Manoeuvrability) A.751을 채택하게 되었다 [2]. 이 기준이 적용됨에 따라서 1994년 7월 1일 이후에 건조되는 선박은 기준에서 요구하는 조종성능을 만족하지 못하면 운항이 금지되거나 운항에 상당한 제약을 받게 된다[3]. 따라서 선박의 조종성능이 조선소, 선박운항자 및 정부관계자의 관심 기술 분야로서 인식되었고, 초기설계 단계에서부터 임의 선박의 조종성능을 보장할 수 있는 기술개발이 시급한 연구과제로 등장하게 되었다.

한편, IMO조종성잠정기준 4가지 항목 중 특히 비대선박의 경우 가장 문제시될 수 있는 것은 변침 및 보침성능(yaw checking and course keeping ability)이라고 예상된다[4]. zig-zag시험 결과의 overshoot angle로써 평가되는 변침 및 보침성능은 선체 고유의 침로안정성과 관련이 있으므로, 변침

및 보침성능이 나쁜 선박은 무엇보다도 먼저 침로안정성을 향상시켜야 한다[4]. 따라서 초기설계 단계 또는 선박 건조 후에 침로안정성이 문제시된 경우에 대비하여, 실용적으로 적용가능한, 선미 또는 타의 형상 개조에 의한 침로안정성의 개선 방법에 관한 기술 확보가 필요할 것이다[5][6]. 이 중에서 우선적으로 생각될 수 있는 것은 선미 형상 개조보다는 타의 형상 개조 방법이라고 생각된다. 타의 형상 개조 방법으로서 타면적을 증감시키는 것 뿐만 아니라 여러 특수 형태의 타를 채택하는 것도 생각할 수 있지만, 본 연구에서는 타면적 증감에 따른 침로안정성 변화 및 이와 관련된 선미 유동 특성 규명에 관심을 두었다.

본 연구에서는 비대선박의 침로안정성 문제와 관련하여, 타의 스펠길이에 따른 면적 변화가 조종운동시 선미 유동 특성에 미치는 영향을 실험적으로 고찰하였다. 구체적으로 사항(斜航) 선체의 타(舵) 위치에서의 정류계수 측정 및 흐름가시화 시험을 실시하고 그 결과를 분석함으로써, 타의 스펠길이에 따른 면적 변화가 선미 유동 특성 및 침로안정성에 미치는 정성적, 정량적 영향을 명확히 파악할 수 있었다.

## 2. 조종운동시의 선미 유동 특성 평가를 위한 운동학적 정식화

Fig. 1과 같이 선체중앙(midship)에 좌표 원점을 둔 동좌표계(moving axes system)를  $O-xyz$ 라 할 때, 부가질량을 고려한 조종운동의 기본방정식

은 다음과 같이 표시된다[7].

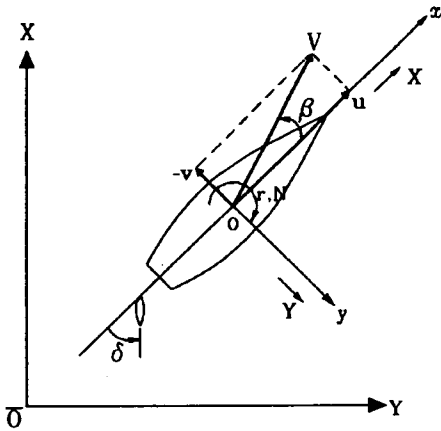


Fig. 1 Coordinate system

$$\begin{aligned}
 (m + m_x) \dot{u} - (m + m_y)vr - (mx_G + m_y a)r^2 &= X \\
 (m + m_y) \dot{v} + (m + m_x)ur + (mx_G + m_y a)\dot{r} &= Y \\
 (I_{zz} + J_{zz}) \dot{r} + (mx_G + m_y a)\dot{v} + mx_G ur &= N
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

여기서  $m$ 은 선체의 질량,  $I_{zz}$ 는  $z$ 축 주위의 관성모멘트,  $x_G$ 는 무게중심의  $x$ 좌표,  $m_x, m_y$ 는 각각  $x, y$ 축 방향의 부가질량,  $J_{zz}$ 는  $z$ 축 주위의 부가관성모멘트,  $a$ 는  $m_y$ 의 중심의  $x$ 좌표를 나타낸다.  $u, v, r$ 은 각각 선체중앙에서의  $x$ 축 방향 속도성분,  $y$ 축 방향 속도성분,  $z$ 축 주위의 각속도성분이다.  $\dot{u}, \dot{v}, \dot{r}$ 는 각각  $u, v, r$ 의 시간에 대한 1차도함수이다.  $X, Y, N$ 은 각각  $x, y$ 축 방향 유체력과  $z$ 축 주위의 유체력모멘트이다.

식(1)에서 조종운동이 미소하다고 가정하면, 조종운동에 따른 선속변화 즉, 전후동요(surge)는 무시될 수 있으며, 유체력  $Y, N$ 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 Y &= \frac{1}{2} \rho L d V^2 (Y'_{\beta HP} \beta + Y'_{r HP} r') - (1 + a_H) F_N \\
 N &= \frac{1}{2} \rho L^2 d V^2 (N'_{\beta HP} \beta + N'_{r HP} r') - (x_R + a_H x_H) F_N
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

여기서  $\rho$ 는 유체의 밀도,  $L$ 과  $d$ 는 각각 선체길이와 평균홀수,  $V$ 는 선박의 합속도,  $F_N$ 은 타수직력(rudder normal force),  $a_H, x_H$ 는 간섭유체력과 관련된 실험정수,  $x_R$ 은  $F_N$ 의 작용점의  $x$ 좌표를 나타낸다. 유체력미계수에 표시한 하첨자  $HP$ 는 hull + propeller 상태에서의 값을 의미한다. 그리고 횡방향유속  $v$  대신에 사향각  $\beta$ 를 사용하였으며, 운동변수의 무차원화는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 v' &= v/V = -\sin \beta \approx -\beta \\
 r' &= r(L/V)
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

타수직력은 MMG모델[8]을 참고하여 다음과 같이 나타낸다.

$$F_N = \frac{1}{2} \rho A_R V_R^2 f_a \{\delta - \gamma(\beta - l'_R r')\}
 \tag{4}$$

여기서  $V_R$ 은 타에의 유효유입속도,  $A_R$ 은 타면적,  $f_a$ 는 타수직력경사,  $\delta$ 는 타각,  $\gamma$ 는 정류계수,  $l'_R$ 는 실험정수이다.

식(4)를 식(2)에 대입하면  $HPR$  즉, hull + propeller + rudder 상태에서의 유체력미계수 즉, Abkowitz형 수학모델[9]에서의 선형유체력미계수를 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned}
 Y_{\beta}' &= Y'_{\beta HP} - k_1 \gamma \\
 N_{\beta}' &= N'_{\beta HP} - k_2 \gamma \\
 Y_{r}' &= Y'_{r HP} + k_1 \gamma l'_R \\
 N_{r}' &= N'_{r HP} + k_2 \gamma l'_R
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

단,

$$\begin{aligned}
 k_1 &= -(1 + a_H) \left(\frac{A_R}{Ld}\right) \left(\frac{V_R}{V}\right)^2 f_a \\
 k_2 &= -(x_R' + a_H x_H') \left(\frac{A_R}{Ld}\right) \left(\frac{V_R}{V}\right)^2 f_a
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

$HP$  상태에서의 유체력미계수 즉,  $Y'_{\beta HP}, N'_{\beta HP}, Y'_{r HP}, N'_{r HP}$ 의 값은 타와는 상관없이, 타수직력과 관련된 실험정수를 구해줌으로써  $HPR$  상태에서의 유체력미계수를 결정할 수 있고, 이로부터

다음과 같이 침로안정성의 정량적 변화를 비교, 분석할 수 있다.

침로안정의 조건은 다음과 같다.

$$l_d = \frac{N_r' - m' x_G'}{Y_r' - (m' + m_x')} - \frac{N_\beta'}{Y_\beta'} > 0 \dots\dots (7)$$

여기서  $l_d$ 를 침로안정성레버(course stability lever)라 정의한다. 침로안정성 또는 침로불안정성의 정량적 평가는 식(7)에 의해서 수행된다. 즉, 침로안정한 선박은  $l_d > 0$ 이고,  $l_d$ 값이 클수록 안정의 정도(degree of stability)는 증대된다. 그리고 침로불안정한 선박은  $l_d < 0$ 이고,  $l_d$ 의 절대값이 클수록 불안정의 정도는 심하다.

일반적으로 배수량형 선박의 경우

$$\begin{aligned} Y_\beta' &> Y_{\beta HP}', N_\beta' < N_{\beta HP}' \\ Y_r' &> Y_{r HP}', -N_r' > -N_{r HP}' \end{aligned} \dots\dots\dots (8)$$

의 관계가 성립된다[7]. 식(7), (8)로부터 HP 상태에서보다 HPR 상태에서는 침로안정성이 향상되는 경향으로 작용한다는 것을 알 수 있다. 식(5), (6)의 실험정수들 중 타의 면적 변화가 hull + propeller + rudder 상태에서의 유체력미계수에 크게 영향을 미치는 것으로서 정류계수  $\gamma$ 를 들 수 있다[10]. 따라서 본 연구에서는 타의 스패길이에 따른 선미 유동 특성을 검토하기 위해서  $\gamma$ 를 측정하고 아울러 선미 후류의 유동가시화 시험을 실시하여 그 결과를 분석함으로써 타의 스패길이에 따른 선미 유동 특성이 침로안정성에 미치는 영향을 실험적으로 고찰한다.

### 3. 구속모형시험 및 시험결과의 고찰

#### 3.1 실험시설, 공시선 및 공시타

본 연구에 이용한 회류수조는 길이 12.5 m, 폭 2.2 m, 높이 5.2 m인 2임펠러 방식의 수직순환형으로서 한국해양대학교에 설치되어 있다. 본 회류수조의 관측부는 길이 5 m, 폭 1.8 m, 수심 0.9 m

이며, 개략도를 Fig. 2에 나타낸다. 그리고 구속모형시험 시 관측부에서의 수직방향 유속분포의 측정 결과의 일부를 Fig. 3에 나타낸다. Fig. 3으로부터 회류수조의 자유표면으로부터 약 30 cm 깊이까지 거의 균일 유속을 얻을 수 있다는 것을 확인할 수 있다.

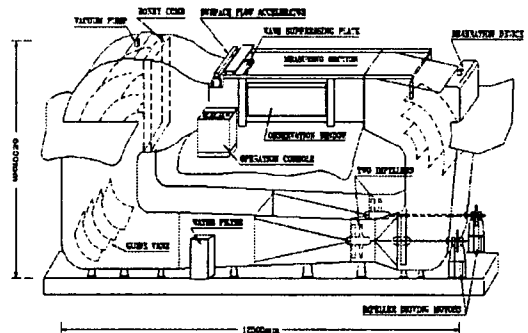


Fig. 2 General arrangement of circulating water channel at Korea Maritime University

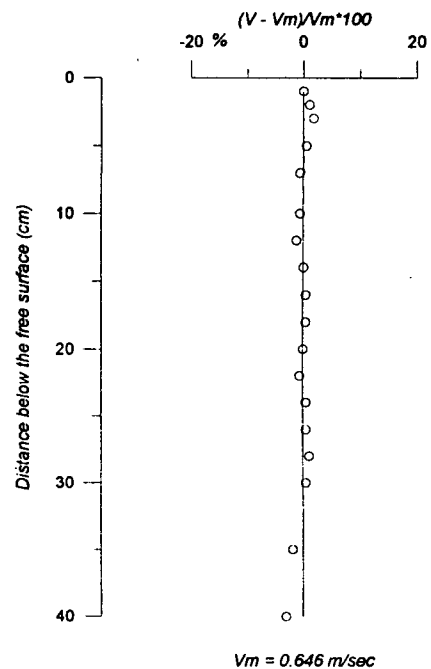


Fig. 3 Velocity distribution depth-wise at working section ( $V_m$ : mean velocity)

본 연구에서 채택한 선형(船型)은 실선 264 m의

탱커선형으로서 실선과 모형선의 주요목은 Table 1 과 같다. 그리고 정면도와 선수, 선미부 측면형상을 Fig. 4에 나타낸다. 그리고 본 연구에서 채택한 모형타는 스패ん길이가 서로 다른 3가지 유형으로서 단면형상은 모두 NACA0020이다. 모형타의 주요목과 측면형상을 각각 Table 2와 Fig. 5에 나타낸다. 참고로 A-2타는 A-1타보다 타면적을 11% 감소시킨 것이고, A-3타는 A-1타보다 타면적을 11% 증가시킨 것이다.

Table 1 Principal particulars of ship and model

Items	Ship	Model
<b>HULL</b>		
Length B.P. $L (m)$	264.0	2.0
Breadth $B (m)$	47.8	0.3621
Mean draft $d (m)$	16.0	0.1212
Trim $\tau (m)$	0.0	0.0
Block coefficient $C_B$	0.8210	0.8210
Midship section coefficient $C_M$	0.9978	0.9978
<b>RUDDER</b>		
Height $H (m)$	10.89	0.0825
Area ratio $A_R/Ld$	1/51.0	1/51.0
Aspect ratio $\lambda$	1.4323	1.4323
<b>PROPELLER</b>		
Diameter $D (m)$	8.0	0.061
Pitch ratio $P/D$	0.709	0.709
Expanded area ratio $A_e/A_o$	0.490	0.490
Number of blades	4	4

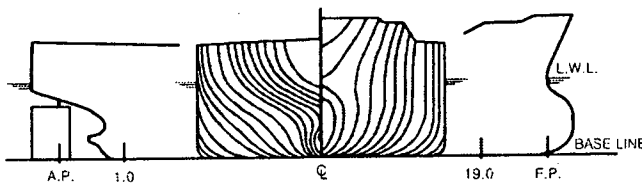


Fig. 4 Body plan and hull end profiles

Table 2 Principal particulars of model rudders equipped to hull

Kind of rudder	Chord length	Mean height	Aspect ratio
A-1	5.76 cm	8.25 cm	1.432
A-2	5.76 cm	7.35 cm	1.276
A-3	5.76 cm	9.16 cm	1.590

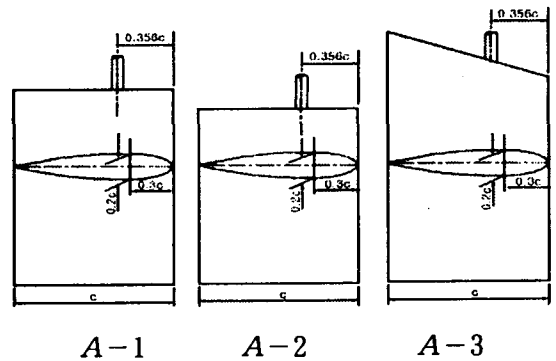


Fig. 5 Profiles of model rudders

### 3.2 정류계수의 측정

식(4)에서 정의한 정류계수  $\gamma$ 에 미치는 타면적 변화의 영향을 검토하기 위해서 사항(斜航) 시 타각을 변화시키면서 타수직력을 측정하였다. 사항시를 가정할 때 타수직력  $F_N$ 이 0이 되는 타각을  $\delta_R$ 이라 하면 식(4)로부터 다음 관계식을 얻을 수 있다.

$$\delta_R = \gamma \beta \dots\dots\dots (9)$$

Figs. 6, 7은 정류계수  $\gamma$ 를 구하기 위한  $\delta_R$ 의 실험결과이다. 즉, 사항 시 타수직력  $F_N$ 이 0이 되는 타각을 구한 것이다. 실험 시 모형선의 속도(회류수조의 평균유속)는 0.646 m/sec로서 실선 14.4 kt(Froude수 0.146)에 대응하는 속도이며, 프로펠러 회전수는 ship point(17.5 rps)이다. 먼저 프로펠러가 설치되지 아니한 상태에서는  $\beta$ 의 양(+), 음(-) 양쪽 영역에서  $\delta_R$ 이 거의 대칭적임을 알 수 있으며, 타면적 변화에 따라  $\beta - \delta_R$ 곡선의 기울기 즉,  $\gamma$ 의 값이 명확하게 차이가 난다는 것을 알 수 있다. 다음으로 프로펠러 작동시에는  $\beta$ 의 양

(+), 음(-) 양쪽 영역에서  $\delta_R$ 이 대칭적이 아니며 대략  $-10^\circ < \beta < 0^\circ$  영역에서  $\gamma$ 의 강한 비선형성을 나타내고 있다. 아울러 타면적 변화에 따라  $\beta - \delta_R$  곡선의 기울기 즉,  $\gamma$ 의 값은 프로펠러가 설치되지 아니하였을 때와 마찬가지로 명확하게 차이가 난다는 것을 알 수 있다. 일반적으로  $\gamma$ 의 비선형성은 프로펠러슬립(propeller slip)이 클수록 현저하게 나타난다고 알려져 있다[11]. 특히 본 실험에서와 같이 소형 모형시험의 경우 프로펠러 슬립이 크므로  $\gamma$ 의 비선형 영향이 현저하게 나타나고 있음을 알 수 있다. 한편 실선의 경우에는 프로펠러슬립이 작으므로 이러한 비선형 영향이 무시될 수 있다. 따라서 실선의 경우에는 Figs. 6, 7에서의 기울기만을 생각하면 될 것이다. Figs. 6, 7로부터 타면적이 감소되어 타의 상부와 선미오버행 하부의 공간이 클수록 정류계수  $\gamma$ 가 커짐을 알 수 있고 아울러 식(5), (6), (7)로부터 침로안정성도 향상된다고 할 수 있을 것이다.

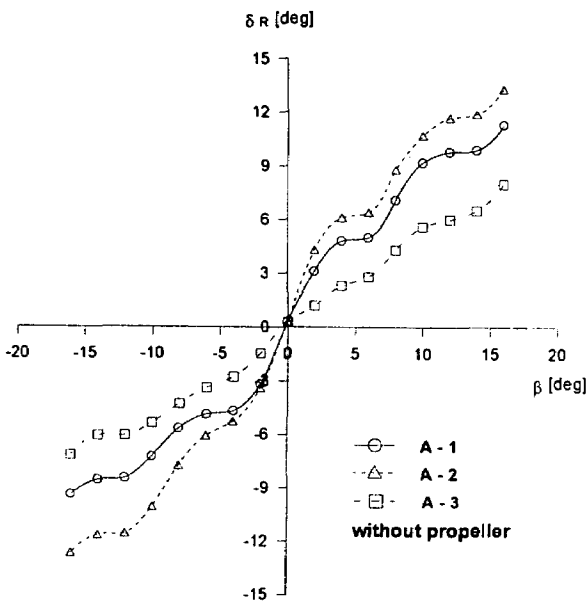


Fig. 6 Rudder angle at which the normal force acting on rudder is nulled out in obliquely running motion without propeller operating at ship propulsion point

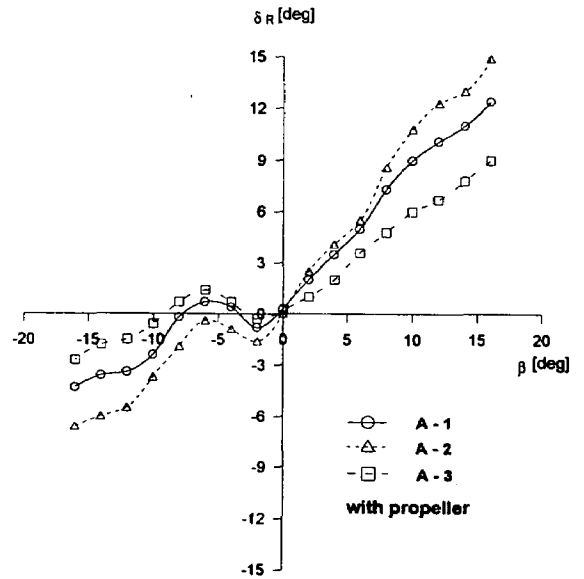


Fig. 7 Rudder angle at which the normal force acting on rudder is nulled out in obliquely running motion with propeller operating at ship propulsion point

### 3.3 가시화 기법을 이용한 선미 유동장 관찰

주선체(main hull)와 프로펠러는 동일 조건으로 둔 채, 타의 스펠길이에 따른 면적 변화를 파라미터로 하여 타 위치에서의 정류계수  $\gamma$ 를 측정된 결과  $\gamma$ 값이 크게 변하고 있음을 확인하였다. 정류계수는 조종운동시 주선체에 비스듬히 부딪히는 유체 흐름이 선체, 프로펠러 및 타의 존재로 인하여 타 위치에서 선수미 방향으로 곧게 수정되는 정도를 나타 내는 실험정수이다. 예를 들면  $\gamma = 1$ 이면 주선체에 비스듬히 부딪힌 흐름이 타 위치에서 전혀 수정이 되지 않고 동일한 양각으로 타에 그대로 유입되는 유동 특성을 의미하며,  $\gamma = 0$ 이면 반대로 타에 유입되는 흐름이 완전히 선수미 방향과 평행으로 곧게 수정되는 유동 특성을 의미한다. 본 절에서는 정류계수의 측정으로부터 확인된 선미 유동 특성을 직접 육안으로 관찰하기 위해서 유동 가시화 실험을 수행하였다.

공시 모형선 선미부 양현 표면에 Figs. 8, 9와 같이 tuft를 설치하여 선체가 사향운동을 하고 있을 때 사향류(oblique flow)의 face side와 back side에서의 선미 유동장을 각각 회류수조 관측창을 통

해 관찰함으로써, 타의 스패길이 변화에 따른 선미 유동 특성을 조사하였다.

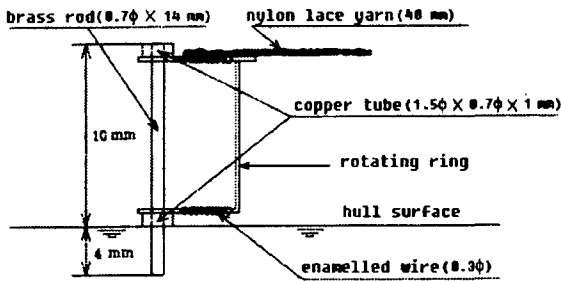


Fig. 8 Schematic diagram of surface tuft used for flow visualization

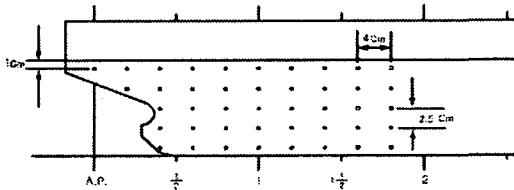
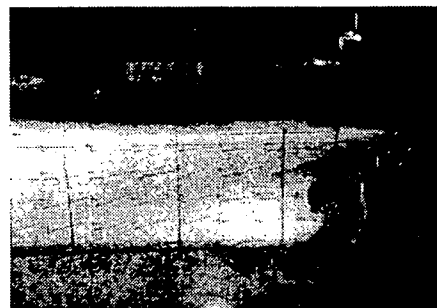


Fig. 9 Position of surface tufts equipped to hull

Figs. 10, 11은 사향 선체의 선미 유동장을 관찰한 사진의 일부로서, 사향각( $\beta$ )은  $4^\circ$  이며 각각 face side와 back side에서의 선미 유동장을 보이고 있다. 타면적 변화에 따라, 특히 타 위치에서의 유동 특성에 유의한 차이를 관찰할 수 있었다. 즉, 타 위치에서 타의 상부와 선미오버행 사이의 공간이 커지면 back side 선미부에서 발생하는 bilge vortex가 이 공간을 통해 face side로 쉽게 흘러간다는 것을 확인할 수 있었다.

유동가시화 관측 결과는 3.2절에서 구한 정류계수  $\gamma$ 와 다음과 같은 상관관계를 갖는 것으로 설명될 수 있을 것이다. 선미 후방 back side bilge 근처에서 발생하는 bilge vortex에 기인하는 유체 흐름이, 타 상부에 공간이 크면 이 공간을 통해서 쉽게 face side로 흘러간다. 따라서 이 때에는 타에 와 닿는 face side로의 유체 흐름이, 타 상부에 공간이 작을 때에 비해 상대적으로 약하다고 할 수 있을 것이다. 이로 인해서 사향류(斜航流)에 의한, 타 위치

에서 back side로의 횡방향 유속이 상대적으로 증가한다. 그 결과 A-2 타의 경우에는 A-1 타에 비해  $\gamma$ 가 증가하고 A-3 타의 경우에는  $\gamma$ 가 감소하였다고 생각된다. 침로안정성에 미치는  $\gamma$ 만의 영향을 생각하면 식(5), (6), (7)로부터 알 수 있듯이  $\gamma$ 가 크면 침로안정성을 향상시키고  $\gamma$ 가 작으면 침로안정성을 저해한다. 이러한 메커니즘을 Tatano는 다음과 같이 설명하였다[12]. 선체 선미 하부와 타 상부 사이에 공간이 크면, bilge vortex에 기인하는 back side로부터 face side로의 유체 흐름이 강해지므로 face side에 stagnation point가 생기고 따라서 face side에서보다 back side에서의 유체 흐름이 강해지므로 face side에서의 압력이 back side에서의 압력보다 증대한다. Tatano는 이 압력차에 의한 회두모멘트가 선체의 양각 즉,  $\beta$ 를 줄이는 효과가 있으므로 침로안정성이 향상된다고 보고하였다. 한편, 실제 선박이 조종운동중일 때에는  $\beta$ 와  $r$ 이 동시에 일어나는데, 이 때에도 선미부에서의 유체 유동 현상은 유사하다. 즉, 이 때에는 선미부에서 선체의 양각이  $\gamma(\beta - l_R' r)$ 로 바뀌어질 따름이다. 그리고 상기 압력차에 의한 선미부 face side에 작용하는 횡방향 힘에 의해서 yaw damping lever는 커지고 sway damping lever는 작아지므로  $l_d$ 의 증가 즉, 침로안정화의 경향을 나타낸다. 침로안정성에 미치는 타면적 변화에 관한 Tatano의 설명과 정류계수 및 유동가시화 시험을 이용한 본 연구에서의 검토는 결과적으로 동일함을 알 수 있다. 특히 침로안정, 불안정이 크게 문제시되는 비대선박의 경우에는 타면적 변화의 영향이 아주 민감하게 반응할 것으로 예상된다.



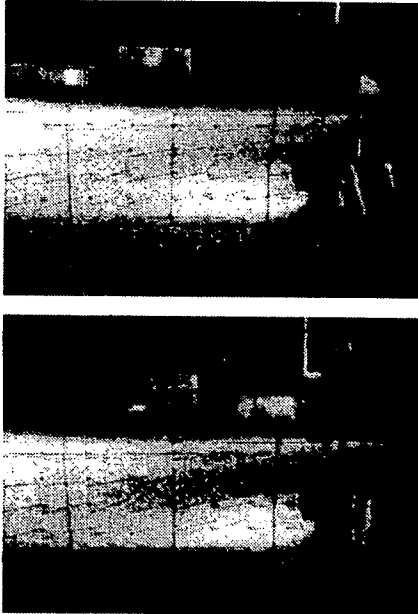


Fig. 10 Flow observation by surface tufts at face side ( $\beta = 4^\circ$ )

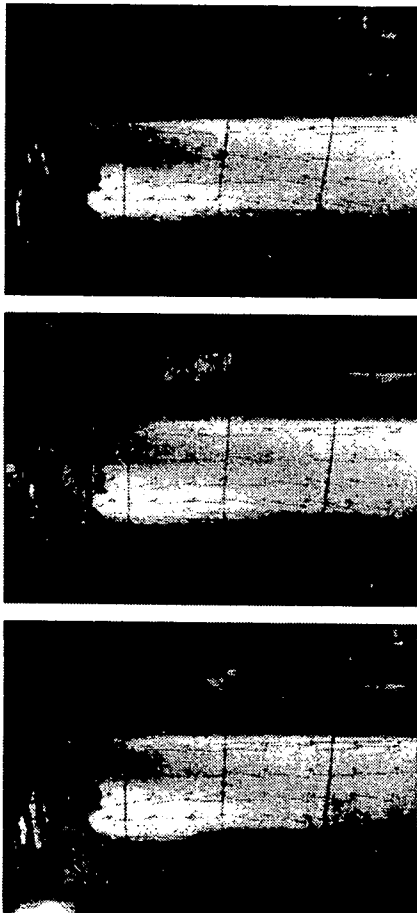


Fig. 11 Flow observation by surface tufts at back side ( $\beta = 4^\circ$ )

#### 4. 결 론

본 연구에서는 타의 크기가 조종운동시 선미 유동 특성에 미치는 영향을 검토하기 위하여 사향 선체의 타 위치에서의 정류계수 측정 및 tuft를 이용한 유동가시화 실험을 실시하여, 그 결과를 분석함으로써 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 타의 크기 변화는 타 상부와 선미오버행 사이의 공간을 변화시키며, 이 공간이 클수록 정류계수가 커지고 침로안정성이 향상된다는 것을 알 수 있었다.

(2) tuft를 이용한 유동가시화 실험을 통해 타의 크기가 조종운동시 선미 유동 특성에 미치는 영향을 이해하고, 선미 유동 특성과 정류계수와의 상관관계를 유추할 수 있었다.

(3) 타 상부와 선미 오버행 사이의 공간은 침로안정성의 관점에서 아주 중요하므로, 타의 크기 그 자체보다는 타의 스패길이 증가로 인하여 이 공간이 줄어들지 않도록 특별한 주의가 요망된다.

#### 후 기

“이 논문은 1999년도 한국학술진흥재단의 연구비에 의하여 연구되었음.

(KRF-99-041-E00098 E1203)”

#### 참고문헌

- [1] 대한조선학회, “선박 해난사고 분석 및 대책수립 토론회”, 대한조선학회지, 제30권 제4호, 1993.
- [2] IMO, “Interim Standards for Ship Manoeuvrability”, Resolution A.751(18), 1993.
- [3] 강창구, “IMO 선박조종성기준”, 대한조선학회지, 제30권 제2호, 1993.
- [4] Kose, K., “船舶の運航安全と操縦性基準について”, 船舶の操縦性基準に関する研究成果報告書, 日本造船研究協會, 1994.
- [5] 日本造船研究協會 第7基準研究部會, “船舶の操縦性基準に関する研究 - 第4章 操縦性能改



- 善法に関する研究”, 日本造船研究協會 研究報告書, 1994.
- [6] Gong, I. Y., et al., “The Influence of Rudder Area on the Manoeuvrability of a Ship with Large Beam-to-Draft Ratio”, Proceedings of the 6th International Symposium on Practical Design of Ships and Mobile Units, Seoul, 1995.
- [7] 손경호, “선박운동조종론”, 한국해양대학교 해양시스템공학부 강의교재, 2000.
- [8] Ogawa, A., et al., “MMG報告( I )-操縦運動の數學Modelについて-”, 日本造船學會誌, 第575號, 1977.
- [9] Abkowitz, M. A., “Lectures on Ship Hydrodynamics - Steering and Manoeuvrability -”, Hydro-og Aerodynamisk Laboratorium, Report No. Hy-5, 1964.
- [10] 손경호, “타의 스패길이에 따른 면적 변화가 침로안정성에 미치는 영향에 관한 연구”, 대한조선학회논문집, 제33권 제4호, 1996.
- [11] Kose, K., et al., “操縦運動の數學モデルの具體化 - 船體・Propeller・舵の相互干涉とその表現”, 第3回操縦性Symposium text chap. 3, 日本造船學會, 1981.
- [12] Tatano, H., et al., “Effects of Stern Profile on Course Stability of Full-Bodied Ships”, Technology Reports of the Osaka University, Vol. 27 No. 1388, 1977.