
 論 文

大韓造船學會論文集
 第 35 卷 第 3 號 1998 年 8 月
 Journal of the Society of
 Naval Architects of Korea
 Vol. 35, No. 3, August 1998

컨테이너 운반선의 조종성능에 미치는 선미 부가물과 선미형상의 효과에 관한 실험적 연구

이호영*, 염덕준*

An Experimental Study on the Effects of Afterbody Appendages and Hull Form on the Manoeuvrability of a Container Carrier

by

Ho-Young Lee* and Deuk-Joon Yun*

요 약

본 논문에서는 계열 모형시험을 통하여, 길이/폭 비가 작은 컨테이너선의 조종성능에 미치는 선미 부가물, 타 및 선미형상의 효과에 대해서 조사·연구되었다. 타, 선미부가물과 선미형상을 변화시키면서 각 경우에 대하여 타 단독시험과 PMM 시험이 수행되었다. 실험적으로 구한 유체력 계수와 일본에서 개발된 MMG 수학모형을 사용하여 조종성능 해석을 수행하였다. 그 결과 선미형상의 변화와 선미벌브 밑부분에 부가물을 부착시키는 것이 불안정한 선박의 방향안정성을 향상시키는데 있어 가장 효과적이었다.

Abstract

In this paper, the effects of a skeg, rudder and stern hull form on the manoeuvrability of a container carrier with small length to draft ratio have been investigated through a series of model test. Rudder open water tests and PMM tests were carried out with varying rudder area, afterbody appendages and stern hull form to investigate their effects on the manoeuvrability. The MMG model developed in Japan was used for the manoeuvring simulation with experimentally obtained hydrodynamic coefficients.

The result showed that the effects by the variation of stern profile and the skeg below stern bulb are much larger than those by any other types of appendages in improving directional stability of the vessel.

접수일자 : 1998년 3월 4일, 재접수일자 : 1998년 7월 3일

*정회원, 현대중공업(주) 선박해양연구소

1. 서론

국제해사기구(International Maritime Organization)는 선박의 안전성을 향상시키고 해양 환경을 보호하기 위해 1993년 11월에 선박조종성에 대한 잠정기준안 A.751(18)을 채택하였다. IMO 잠정기준은 그 이후로 5년간 검토될 예정에 있다. 이와 같은 조종성 기준에 잘 대처하기 위해 선박설계자는 초기설계 단계에서 선박조종성능을 정확하게 추정하는 기법을 확보해야 한다.

일반적으로 컨테이너선은 길이/폭 비가 크고 방형비척계수가 작기 때문에 좋은 직진성능을 가지는 것으로 알려져 있다. 그러나 Oltmann[2]은 작은 횡메타센터높이를 갖는 컨테이너선은 방향안정성 면에서 불리하다는 것을 보여주었고, 특히 오우버슈우트각은 IMO 기준을 초과할 수 있다는 것을 제시하였다. 설계자의 관점에서 컨테이너선은 작은 횡메타센터높이와 음의 부력중심 값을 갖는 것으로 특징지워지고, 위의 두가지 특성은 방향안정성 면에서 불리하게 작용한다. 위의 특성들이 길이/폭 비가 작아지면서 바야지 선미 형태와 결합되면 컨테이너선은 어떠한 형태의 저속비대선보다도 직진 및 변침성능이 나빠질 수 있다. 더군다나 IMO 기준을 적용할 때 컨테이너선은 속도가 빠름으로 인하여 길이/속도 비가 작게 계산되므로, 10°/10° 지그재그 오우버슈우트각에 심한 기준이 적용된다.

Lee[3,4]는 이전의 연구에서 중형 컨테이너선에 대한 방향불안정성 원인과 선박의 조종성능에 있어 선미부가물의 변화와 위치에 대한 효과를 언급하였다.

본 연구에서는 컨테이너선의 선미 형태와 선미 부가물의 효과를 조사하기 위해 PMM 시험을 수행하였다. 조종성능은 MMG 수학모형을 이용한 3자유도 운동 방정식에 의해 해석되었다. 해석 결과에 의하여, 선미 형태와 선미 부가물의 부착 위치가 방향안정성에 중요한 효과를 주는 것을 알았다.

2. 수학모형

좌표계는 Fig.1에 나타난 바와 같이 선박에 고정된 우수좌표계를 사용하였고, 조종운동 방정식은 다음과 같은 형태이다.

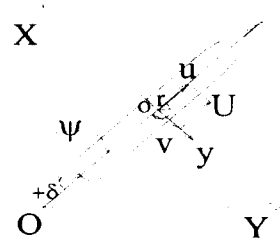


Fig.1 Coordinate system

$$\begin{aligned}
 m'(\dot{u}' - v'r' - x_G r'^2) &= X_H' + X_P' + X_R' \\
 m'(\dot{v}' + u'r' + x_G r') &= Y_H' + Y_P' + Y_R' \\
 I'_{zz}r' + m'x_G(\dot{v}' + u'r') &= N_H' + N_P' + N_R' \quad (1)
 \end{aligned}$$

첨자 H는 선체력을 나타내고, P 와 R은 각각 프로펠러 추력과 타력을 나타낸다. 선체력에 대한 수학모형은 MMG 수학모형을 근간으로 개발되었다. PMM 모형시험은 조종운동에 대응하는 횡방향 속도 v 와 선수각속도 r 에 대한 유체력 미계수를 얻기 위해 수행된다. 수학모델의 해석 및 모형시험 해석 과정은 MMG report[5] 와 Lee[6]에 자세히 제시되어 있다. 선박에 작용되는 선체력은 다음과 같은 형태로 표시된다.

$$\begin{aligned}
 X_H' &= \frac{X_H}{1/2\rho L^2 U^2} = X'_{uv} \dot{u}' + X'_{vv} v'^2 + (X'_{vr} - Y'_{v'})v'r' + X'_{rr} r'^2 + X'_{v\eta} v'(1-\eta)^2 + X'(u) \\
 Y_H' &= \frac{Y_H}{1/2\rho L^2 U^2} = Y'_{vv} \dot{v}' + Y'_{rr} r'^2 + Y'_{vv'} v' + Y'_{vvv} v'^3 + Y'_{rrr} r'^3 + (Y'_{rv} + X'_{uv})r' + Y'_{vvr} v'^2 r' + Y'_{vrr} v'r'^2 + Y'_{\eta}(1-\eta) + Y'_{\eta\eta}(1-\eta)^2 + Y'_{v\eta} v'(1-\eta) + Y'_{v\eta\eta} v'(1-\eta)^2 \\
 N_H' &= \frac{N_H}{1/2\rho L^3 U^2} = N'_{vv} \dot{v}' + N'_{rr} r'^2 + N'_{vvv} v'^3 + N'_{rrr} r'^3 + N'_{vvr} v'^2 r' + N'_{vrv} v' r'^2 + N'_{rrv} r' v'^2 + N'_{\eta}(1-\eta) + N'_{\eta\eta}(1-\eta)^2 + N'_{v\eta} v'(1-\eta) + N'_{v\eta\eta} v'(1-\eta)^2
 \end{aligned} \quad (2)$$

$\eta(=U/u)$ 는 프로펠라의 전진비에 대한 효과를 나타내고, 선체의 저항과 프로펠라 추력과의 관계식은 다음과 같다.

$$X(u) - X_p = X_0 + X_\eta(1-\eta) + X_{\eta\eta}(1-\eta)^2 + X_{\eta\eta\eta}(1-\eta)^3 \quad (3)$$

프로펠라 위치에서 유효반류는 추력일치법에 의해 평가되고, 유효반류계수는 다음과 같이 편류각 시험으로부터 해석된다.

$$w_p = w_{p0} \exp(-C_p v'_p) \quad (4)$$

$$v'_p = v' + x'_p r'$$

w_p : 조종운동중의 유효반류 계수

w_{p0} : 유효반류 계수

Ogawa[7]에 의하면, 타의 작동으로 인한 타력 성분은 다음과 같이 분리된다.

$$\begin{aligned} X_{R'} &= -(1-tr)F_N' \sin \delta \\ Y_{R'} &= (1 + ah) F_N' \cos \delta \\ N_{R'} &= (X_{R'} + ahX_{H'}) F_N' \cos \delta \end{aligned} \quad (5)$$

타수직력은 실험식으로서 다음과 같다.

$$\begin{aligned} F_N' &= (U_R/U)^2 (A_R/L^2) f_a \sin \alpha_R \\ U_R &= \sqrt{u_R^2 + v_R^2} \end{aligned} \quad (6)$$

타수직력 계수(= f_a)는 타단독시험에서 계산되어진다. 타에 유입되는 유효속도를 계산하기 위해, 타각을 바꾸어 가면서 정적타각시험을 수행하여 타에 작용하는 타직압력을 계측한다. 타단독시험과 정적타각시험에서 계측된 타직압력을 타직압력일치법을 사용하여 타에 유입되는 유효유입속도를 계산하였다. 프로펠라와 타에 유입되는 유속비를 나타내는 실험계수 ϵ 과 타 유효 유입속도와의 관계식은 다음과 같다.

$$u_R = \epsilon u_p \sqrt{\eta_{II} \left\{ 1 + x \left(\sqrt{1 + \frac{8K_T}{\pi J_p^2}} - 1 \right) \right\}^2 + (1 - \eta_{II})}$$

$$\eta_H = \frac{D_p}{\text{Rudder Height}} \quad (7)$$

$$v_R = -u_R \tan \delta_R$$

$$x = \frac{0.6}{\epsilon}$$

ϵ, x : 정적타각시험에서 도출된 선체-프로펠라-타 상호 상관계수

선체와 프로펠러를 거쳐 유입되어 정류된 흐름과 타의 작동으로 인한 타의 유효타각은 다음과 같다.

$$\alpha_R = \delta - \delta_R = \delta - \delta_0 - \gamma_1(\beta \leq 0) \text{ or } \gamma_2(\beta \leq 0)(v' + l'_R r')(U/u_R) \quad (8)$$

실험 계수 γ 는 정류계수이고, δ_0 는 타중립각이다.

3. 모형시험 및 조종성능 해석

3.1 PMM 모형시험

PMM 시험이 수행된 선박의 기본제원은 Table 1에 제시되었고, 타와 부가물의 형상과 부착위치는 Fig.2에 나타내었다.

Table 1 Principal dimension of a container carrier

Hull		Rudder	
L/B	5.705	Number	1
B/T	2.804	Ar/LT(%)	
L/T	16.	Rudder 1	1.685
C _B	0.6532	Rudder 2	1.916
lcb/L(%)	-2.505		
KG/T	1.243		

모형선박에 대한 PMM 시험은 하계만재활수 상태에서 수행되었고, 실험중에 회전 중심점은 부력중심점에 고정시켰다. 프로펠라 회전수는 PMM 시험동안 저항추진시험으로부터 도출된 선박의 자항점의 회전수로 일정하게 유지시켰다. 모형선박은 조종운동중의 횡운동을 간접적으로 고려하기 위해 정적시험에서는 상하동요, 종동요 및 횡동요를 자유롭게 하였다. 조종운동중의 유체력 미계수를 산출하기 위하여 다음과 같은 시험을 행하였다.

정적시험

- 타단독시험

- 정적타각 시험

- 정적속도 및 타각 시험

- 정적 편류각 시험
- 정적 편류각 및 타각 시험
- 정적속도 및 편류각 시험
- 동적시험
- 좌우동요 시험
- 선수동요 시험
- 선수동요 및 편류각 시험

정적 시험에서 계측된 선체력, 타력 및 프로펠러 추력은 평균값으로부터 얻어지고 동적시험에서 계측된 값들은 시간적으로 변화되는 힘들을 Fourier 0차 및 1차변환 성분으로부터 얻어진다. 선체에 작용하는 조종유체력 미계수는 선체에서 계측된 총 힘에서 타력을 제거하여 최소자승법을 사용하여 계산된다.

중형 컨테이너선의 조종성능을 향상시키기 위하여 여러 가지 선미 부가물과 선형을 변화시키면서 시험을 행하였다. Fig.2는 본 논문에서 사용된 부가물의 형태, 부착위치와 타의 형상을 보여주고 있다. case 1은 부가물을 부착하지 않은 본래의 선박이고, case 2는 부가물을 선미 트랜섬 밑부분에 부착하였고, case 3은 타에 end plate를 부착시킨

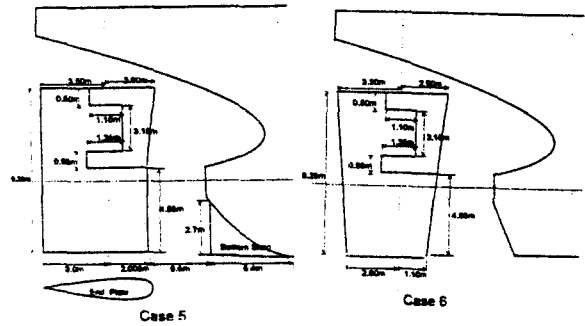
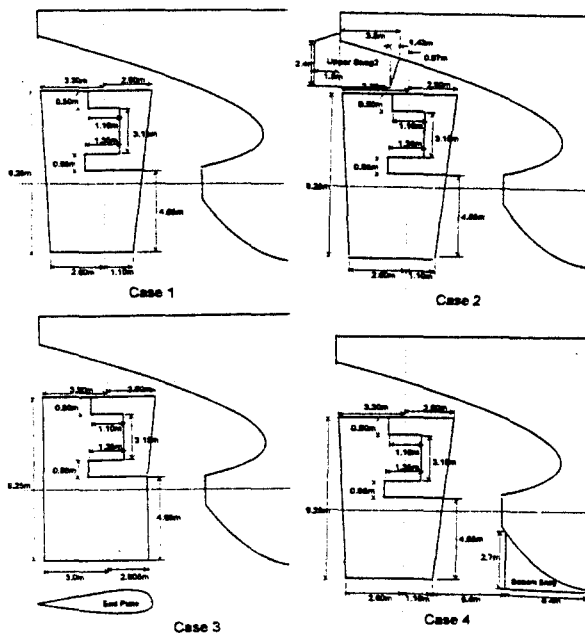


Fig.2 Configurations of rudder, skeg and stern hull form

고 타면적을 증가시킨 경우이고, case 4는 선미별브 밑부분에 부가물을 부착시킨 경우이고, case 5는 선미별브 밑부분에 부가물을 부착시키고 또한 타에 end plate를 부착시키면서 동시에 타면적을 증가시킨 경우이다. case 6은 타는 그대로 두고 선미 profile의 면적을 증가시킨 경우이다.

3.2 선체-프로펠러-타 상호간섭 계수 및 조종 유체력 미계수 해석

타단독시험은 두 개의 타에 대해 수행되었다. 두타에 대한 기하학적 특성과 형상은 Table 1과 Fig.2에 나타내었다. rudder 1은 case 1, 2, 4 및 6에 부착되었고, rudder 2는 case 3 및 5에 부착시켰다. 타단독시험은 각 타의 근본적인 특성을 파악하고 타에 유입되는 속도를 계산하기 위해 수행되었으며, 타의 가동부의 힘과 토크를 계측하기 위해 3분력계가 사용되었다. 타의 고정부는 선체의 일부분이라는 가정하에 힘은 계측하지 않았다. rudder 1은 시험속도를 1.894m/sec로 하였고, rudder 2는 1.894m/sec와 1.907m/sec 두가지 속도에 대하여 시험을 행하였다. Fig.3은 타각에 따른 타수직력의 변화를 보여주고 있고, 실험치를 최소자승법에 의해 근사시킨 결과와 비교하고 있다. Fig.3에 표시된 바와 같이 end plate 부착과 더불어 타면적을 증가시킨 rudder 2가 rudder 1보다 f_d 값이 크다. Fig.4에는 타에 유입되는 유효 유입속도를 각 경우에 따라 도시하였는데, 음의 타각에서 유입되는 속도가 양의 타각에서 값보다



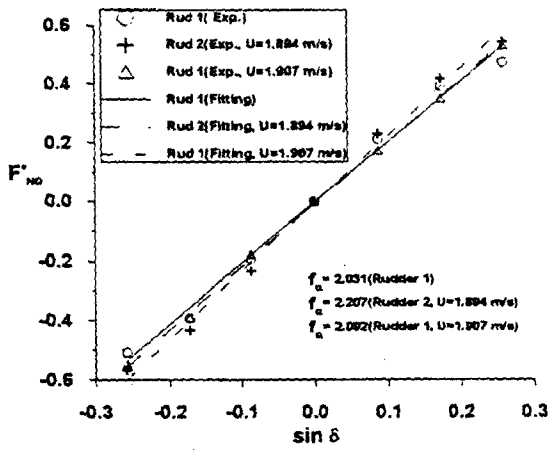


Fig.3 Rudder open water test results

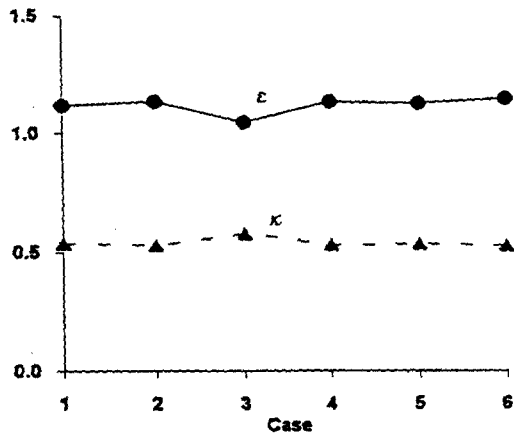


Fig.4 Variation of ϵ and κ

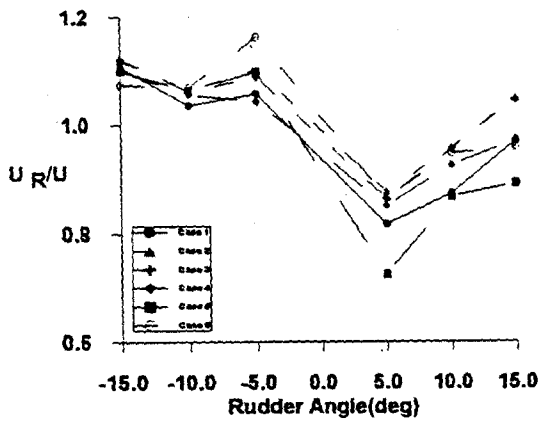


Fig.5 Variation of rudder inflow velocity with rudder angle

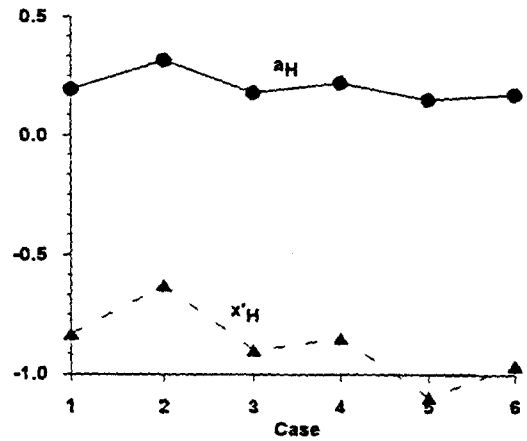


Fig.6 Variation of hull-rudder interference parameter

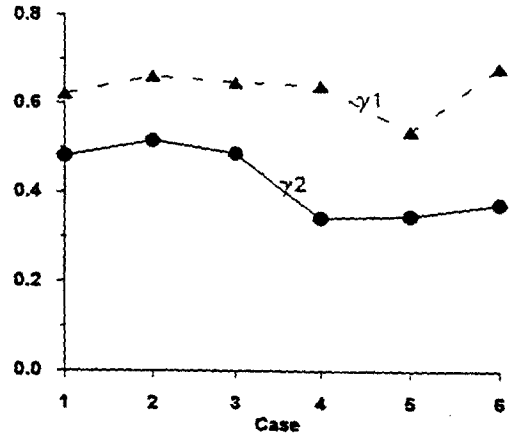


Fig.7 Variation of flow straightening parameter

크다. Fig.5는 식(7)로부터 도출된 ϵ 및 κ 를 보여 주고 있다. Fig.6은 각 경우에 대해 선체-타 상호작용 계수 a_H 및 x'_H 의 변화를 보여주고 있다. a_H 보다도 x'_H 가 부가물의 부착에 민감하다는 것을 알 수 있다. Fig.7은 식(8)로부터 계산된 타정류계수의 변화를 보여주고 있고, 선미벌브에 부가물을 부착한 경우의 정류계수가 다른 경우의 값보다 작다.

선박의 조종성능은 실험 데이터의 선형 회귀로부터 얻어진 동적 복원팔(dynamic stability lever)을 검토함으로써 정성적으로 평가될 수 있다.

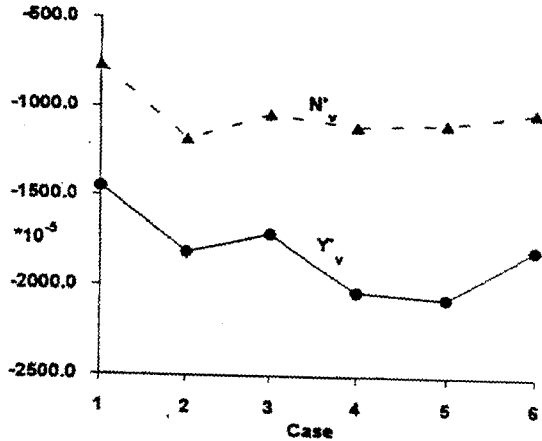


Fig.8 Variation of $Y'v$ and $N'v$ from drift angle test result

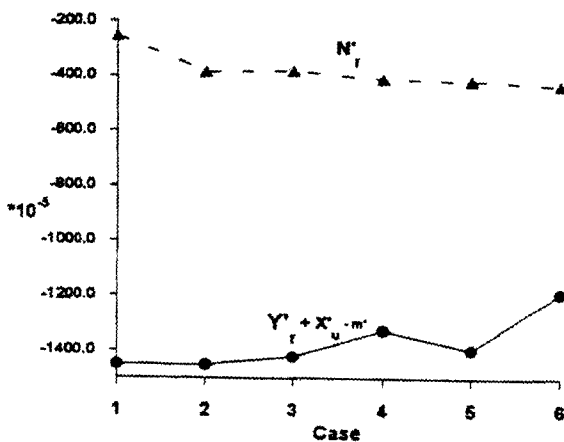


Fig.9 Variation of $Y'r+X'u-m'$ and $N'r$ from pure yaw test result

$$l_d = l_r - l_v = \frac{N'_r - m'x'_G}{Y'_r + X'_u - m'} - \frac{N'_v}{Y'_v} \quad (9)$$

Abkowitz 수학모델에서는 식(9)에 타의 영향을 포함하였으나, 본 연구에서는 MMG 수학모델을 사용하였으므로 타 영향을 제거하였다[8]. Fig.8 과 Fig.9에는 각 경우에 대하여 편류각 시험과 순수 선수요 동요로부터 도출된 선형 유체력 미계수를 도시하였다. 편류각 시험의 경우에 case 5에 대한 선체력이 다른 경우보다 크고, 선체에 작용하는 모우멘트는 case 1이 다른 경우보다도 크다. 식(9)로부터 큰 선체력과 작은 모우멘트가 선박의 방향안정성을 향상시킨다는 것을 알 수 있다.

Fig.10은 선체 및 프로펠러 영향을 포함한 선형 조종유체력 미계수에 대하여 계산된 동적 복원팔을 보여주고 있다. 복원팔 값은 case 1에 비교하여, case 2는 8.9% 감소되었고, case 3는 3.9% 향상되었으며, case 4는 33.5% 향상되었고, case 6은 40.9% 향상되었다.

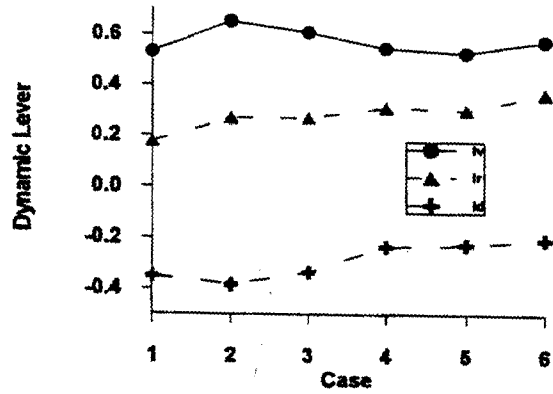


Fig.10 Variation of stability lever

3.3 조종성능 해석

조종성능해석은 MMG 수학모형을 사용하여 선미선형, 타면적 및 부가물을 변화시킨 각 경우에 대해 수행되었다.

Fig.11은 우현방향의 초기선회 시험을 보여주고 있다. Fig.12, Fig.13은 35° 타각에 대한 선회 시험 결과를 보여주고 있고, 그 값들은 선박의 길이로 무차원화 되었다. 선회성능은 타면적을 증가시키고 부가물을 부착시킴에 따라 더욱더 나빠졌다. 일반적으로 타면적을 증가시킴에 따라 선회성능은 향상되나, 간혹 고속선에서 이와 같은 현상이 나타난다[9].

Fig.14와 Fig.15는 10°/10° 와 20°/20° 지그재그 시험에 대하여 시간에 따른 선수각의 변화를 보여주고 있다. case 6은 오우버슈우트각 측면에서 어떠한 경우보다도 효과적이나, 타작동에 따른 응답시간에 있어 case 5가 다른 경우보다도 효과적이다. 지그재그 시험으로부터 알 수 있는 바와 같이 선미벌브 밑부분에 부가물을 부착시킨 경우와 선미벌브 부근의 선미 profile을 변화시킨 경우가 방향안정성을 향상시키는 효과적인 수단이었

다. 선미트랜섬 아래에 부가물을 부착시킨 경우는 방향안정성 면에서 약간의 향상이 보이며, 타면적 증가는 어느 정도 효과가 있었다.

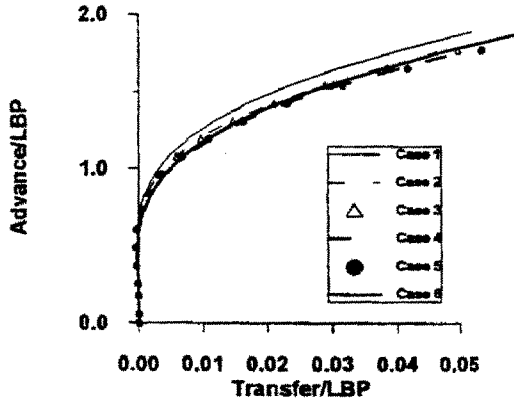


Fig. 11 Initial turning trajectory

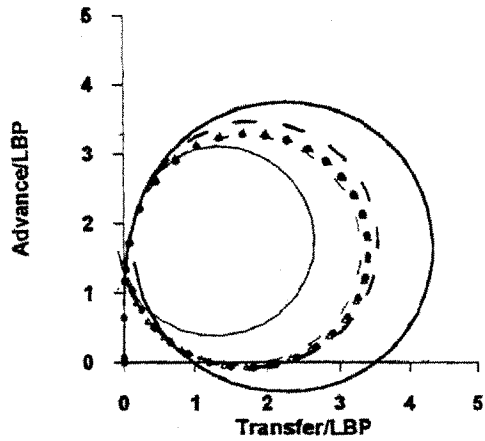


Fig. 12 Turning trajectory for 35° rudder (starboard)

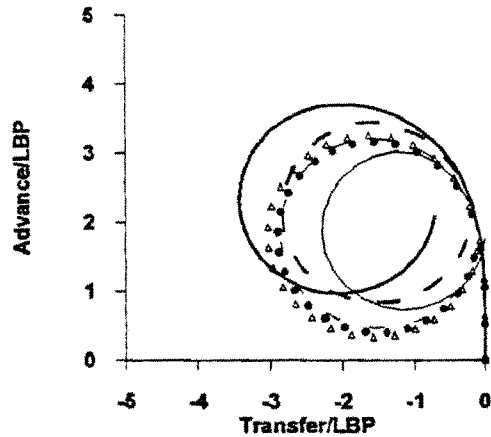


Fig. 13 Turning trajectory for 35° rudder (port)

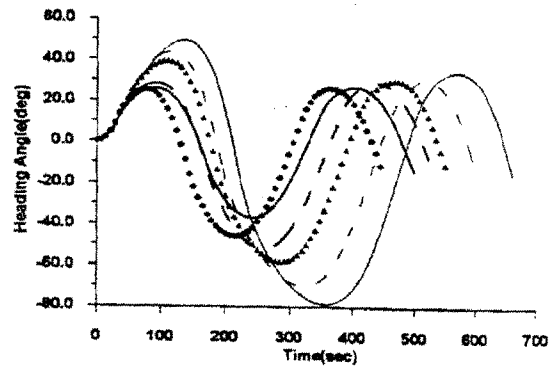


Fig. 14 10°/10° zig-zag manoeuvre

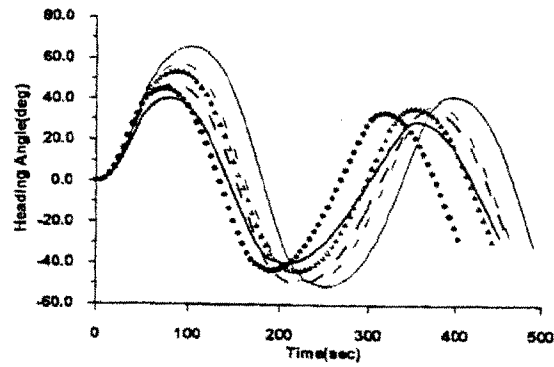


Fig. 15 20°/20° zig-zag manoeuvre

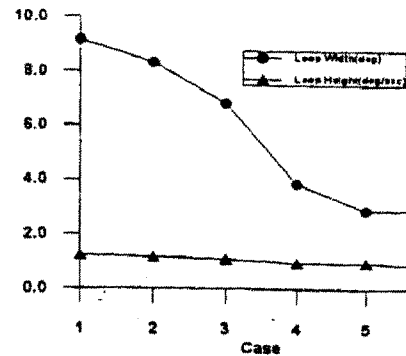


Fig. 16 Variation of spiral manoeuvre characteristics

Fig.16은 각 경우에 대하여 나선형 시험에 의한 히스테리시스 루우프의 폭과 높이의 변화를 보여 주고 있다. 루우프 폭의 변화는 지그재그 시험의 결과의 경향과 일치한다. 타에 end plate와 타면적을 증가시킨 경우와 동시에 부가물을 부착한 경우는 선미형상을 선미 profile을 변화시킨 경우

다 루우프 높이 보다도 루우프 폭을 줄이는 효과가 컸다.

4. 결 론

방향안정성이 불량한 컨테이너선의 조종성능을 향상시키기 위하여 여러 위치에 선미 부가물을 부착시키고, 선미형상을 변경하여 PNM 시험을 수행하였다. 본 연구결과로 부터 다음 결론을 도출하였다.

(1) 길이/폭 비와 횡메타센타높이가 작은 컨테이너선은 건조비는 줄일 수 있으나, 여러 설계 파라메타의 조합에 의해 방향안정성이 나빠질 수 있다.

(2) 컨테이너선과 같은 고속선의 조종성능을 향상시키는 데 있어 선미벌브 위치에서 선미 profile의 면적을 키우거나 선미벌브 밑부분에 부가물을 부착시킨 경우가 불안정한 선박의 방향안정성을 향상시키는 가장 효과적인 수단이 될 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] IMO A 18/Res. 751, 22 November, 1993.
- [2] Oltmann, P., "Roll-An Often Neglected Element of Manoeuvring", MARSIM '93, St. John's, Canada, 1993.
- [3] Lee, H.Y. et al., "The Effects of After-Body Appendages on the Manoeuvrability of a Container Carrier", ITTC'96, Vol.2, 1996.
- [4] Lee, H.Y. et al., "A Study on the Effects of Afterbody Appendages and Stern Hull Form on the Ship's Manoeuvrability", CKMEM'97, Shanghai, China, 1997.
- [5] MMG Report I~IV, Bulletin of the Society of Naval Architects of Japan, 1977.
- [6] Lee, H.Y. et al., "The Prediction of Manoeuvrability Using PNM Model Tests-The Comparative Study of Mathematical Models-", Journal of SNAK, Vol.34, No.2, 1997.
- [7] Ogawa, A. and Kasai, H., "On the Mathematical Model of Manoeuvring Motion of Ships", International Shipbuilding Progress, Vol.25, No.292, 1978.
- [8] Gong, I.Y. et al., "The Influence of Rudder Area on the Maneuverability of a Ship with Large Beam-to Draft Ratio", PRADS'95, Seoul, Korea, 1995.
- [9] 임상진, 기본조선학, 대한교과서주식회사, 서울, 1971.