

## 핀 안정기 설계와 성능평가를 위한 모형시험과 시뮬레이션 연구

조석규<sup>†\*</sup>, 홍사영<sup>\*</sup>, 장택수<sup>\*\*</sup>

한국해양연구원 해양시스템안전연구소<sup>\*</sup>  
부산대학교 조선해양공학과<sup>\*\*</sup>

### Experiment and Simulation Study on Performance Evaluation and Design of Fin-Stabilizer

Seok-Kyu Cho<sup>†\*</sup>, Sa-Young Hong<sup>\*</sup> and Taek-Su Jang<sup>\*\*</sup>

Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering(KRISO), KORDI<sup>\*</sup>  
Dept. of Naval Architecture & Ocean Engineering, Pusan Univ.<sup>\*\*</sup>

#### Abstract

Recently, very large container ships are emerging as shipment of containers is expected to rapidly increase near future. A possibility of roll resonant motion in a seaway is expected to noticeably increase for large container ships of which capacity ranges 8,000 to 15,000 TEU due to relatively wide breadth and shallow draft comparing to conventional container ships. In this paper, a design and performance evaluation of a fin stabilizer for a 9,000 TEU container ship is carried out. The weak opposed control concept is adopted for the design. Time domain simulations and model tests are performed for performance evaluation. The design prediction, the model tests and the simulations show generally good agreements.

※Keywords: Roll(횡동요), Anti-Roll Device(횡동요 감쇠장치), Fin-Stabilizer(핀 안정기), Model Test(모형 시험)

#### 1. 서언

바다를 항해하는 선박의 과대한 운동은 선박의 기능과 승무원의 작업능력을 저하시키고 탑재된 장비와 화물의 손상을 야기한다. 특히, 선박의 운

동 중 횡동요는 상하동요, 종동요에 비하여 공진 시 응답이 매우 커서 선박의 기능저하와 안전성에 큰 영향을 미친다. 횡동요의 공진 시 응답이 큰 이유는 감쇠력이 매우 작기 때문이며 이러한 횡운동의 과대응답을 감소시키기 위한 방법으로 횡운동 감쇠력을 제공하는 ART(Anti-Rolling Tank) 또는 핀 안정기(Fin Stabilizer)가 있다(김선영 등 2003).

최근 초대형 컨테이너선의 출현은 횡동요 과대

접수일: 2004년 5월 24일, 승인일: 2004년 8월 30일

† 주저자, E-mail: skcho@kriso.re.kr

Tel: 042-868-7501

응답에 대한 효과적인 감소 방안을 요구하게 되었다. 기존의 4,000 TEU 이하 컨테이너선의 경우 많은 화물이 갑판위에 적재되므로 GM이 일반적으로 0.5 m 내외로 매우 작다. 작은 GM으로 인해 횡동요의 공진주기가 25초 이상으로 통상의 파도 주기 범위를 벗어나므로 횡파 및 선수사파에서 공진응답이 발생할 확률이 거의 없다. 그러나 6,000 TEU 이상의 초대형 컨테이너선에서는 흘수 제한으로 인한 선폭의 증가로 인해 GM이 크게 증가하여 횡동요 고유주기가 10초대로 짧아지게 된다. (장택수 등 2002, 2003) 짧아진 횡동요 고유주기 범위에서 일반 해상상태에서의 공진응답 확률이 크게 증가하기 때문에 초대형 컨테이너선에 적절한 횡동요 감소 장치가 요구된다.

초대형 컨테이너선의 경우는 일정항로를 운항하고 정시성이 요구되는 경우가 많아 운항속도가 20 노트 이상으로 고속이다. 또한, 효과적인 컨테이너의 적재를 위해서 넓은 화물창 공간의 확보가 매우 중요하다. 따라서 초대형 컨테이너선의 횡동요를 억제하기 위해서는 ART 보다 설치 시 공간의 점유가 작고 일정 속도(10~15노트) 이상으로 운항하는 선박에 효율적인 것으로 알려진 핀 안정기가 적절할 것으로 판단된다(Conolly 1969, Lloyd 1975).

지금까지 핀 안정기의 성능 평가를 위해 모형시험과 시뮬레이션 기법이 개별적으로 개발되었지만 (홍사영 등 2001, Hong et al. 2002) 초기 단계에서 적절한 핀 안정기를 선정하고 최종 성능을 평가하는 전체적인 설계, 해석, 평가의 방법이 고려되지 못했다. 본 연구에서는 선박의 초기설계 단계에서 적절한 핀 안정기의 용량을 산정하고 최적설계를 위한 핀 안정기 모형시험과 해석, 평가를 하는 종합기법을 개발하였다. 핀 안정기의 초기 용량 설계를 위해 Opposed control을 적용한 설계절차 프로그램인 FIND(FIN-stabilizer Design)를 개발하였으며, 핀 안정기의 성능을 평가하기 위해 시간영역 비선형 성능 해석 프로그램인 FINSIM(FIN-stabilizer SIMulation)을 개발하였다. 아울러 설계와 성능 해석 프로그램의 검증용 위하여 모형시험을 수행하였다. 이러한 각 요소는 핀 안정기의 초기에서 최종 설계까지 적용되며 Fig.

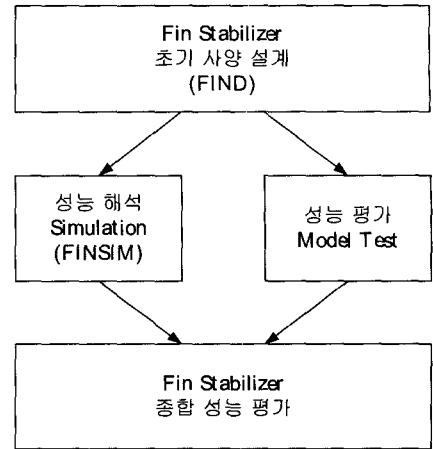


Fig. 1 Design and performance evaluation procedure for fin stabilizer

1과 같은 과정으로 정리된다.

## 2. 핀 안정기 설계기술 개발

주어진 해상상태에서 핀 안정기의 성능을 최적화하려면 핀 안정기와 선박의 주요 설계변수가 동시에 고려되어야한다. 이러한 설계변수를 고려하기 위해서는 핀 안정기의 초기 설계단계에서, 선정된 선박에 대해서 요구되는 핀 안정기의 성능을 만족하는 설계변수를 계산하고 핀 안정기의 위치와 최적 계인을 평가하는 기술이 필요하다. 본 연구에서는 횡동요 모멘트와 정반대의 복원 모멘트를 제공하는 Opposed control(Conolly 1969)을 적용한 설계 절차를 개발하였다.

### 1) 입력자료 결정

① 공진주기에서 횡동요 감소율과 핀 안정기의 작동범위를 결정한다.

$$\text{횡동요 감소율} = \left(1 - \frac{\text{Roll}_{wFIN}}{\text{Roll}_{w/oFIN}}\right) \times 100$$

② 배수량, 선속, GM, 감쇠계수를 입력한다.

③ 핀 안정기의 수와 위치를 입력한다.

2) 단계 1)에서 정한 횡동요 감소율을 만족하는 정적 복원모멘트를 계산하고 초기에 입력된 핀 안정기의 변수와 계인으로 불규칙 해상에서의 횡동요 응답과 핀 안정기 작동 범위를 계산한다.

3) 단계 1)에서 정한 성능을 만족할 때까지 계

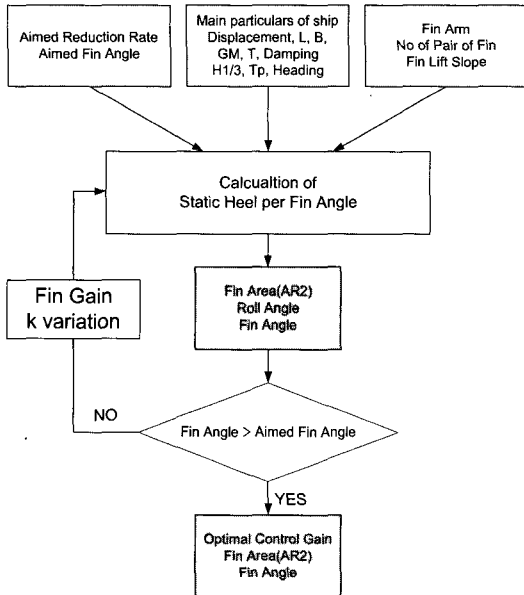


Fig. 2 FIND flow

인과 면적을 변화시켜 단계 1)~2)를 반복한다.

상기의 과정에 따라 작성된 초기 핀 안정기 용량산정 프로그램인 FIND를 개발하였고, 흐름도를 Fig. 2에 나타내었다. FIND는 사용자가 쉽게 실행할 수 있도록 GUI화 하였다.

본 연구에서는 핀 안정기를 설치하는 대상으로 KRISO 9,000 TEU 컨테이너선을 선정하였으며, 초기 설계목표로 고유주기에서 횡동요 감소율을 40%로 하였으며 운항 선속은 20 노트로 하였다. 운항 한계 해상상태는 7(유의파고 7.5 m)로 하였고 이 때 핀 안정기의 작동 범위는 25도로 제한하였다. Table 1에 선박의 제원과 핀 안정기의 설계 목표를 나타내었다.

FIND를 이용하여 목표한 성능을 만족하는 핀 안정기의 제어계인과 용량을 구하여 Table 2에 나타내었다. 설계된 핀 안정기의 안정성을 Nyquist 방법으로 확인하였고 이를 바탕으로 Fig. 3과 같은 핀 안정기를 설계하였다.

### 3. 핀 안정기 시뮬레이션 기법 개발

핀 안정기의 초기 설계가 완료되면 다양한 해상 환경에서의 성능 평가가 수행되어야 한다. 설계 단

Table 1 Main particulars of 9,000 TEU container ship and design target

Main Particulars	Displacement[m <sup>3</sup> ]	112,525.6
	Length[m]	292.7
	Breadth[m]	45.0
	Draft[m]	13.0
	GM[m]	4.8
Nominal Ship Speed[knot]		20
Targeted Roll Reduction at Resonance[%]		40
Working Range of Fin Stabilizer at SS 7[deg.]		< 25

Table 2 Initial design of a fin stabilizer for 9,000 TEU container

Control Gain	$k_{\phi} = 0.11, k_{\dot{\phi}} = 17.1, k_{\ddot{\phi}} = 1.0, \phi : \text{Roll of ship}$
Fin Area	36.6 m <sup>2</sup>
Reduction at Resonance	39.9 %
Reduction at SS 7	35.0 %

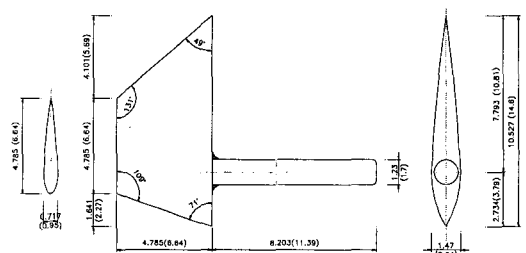


Fig. 3 Designed fin stabilizer

계에서는 주파수 영역에서 핀 안정기의 용량과 성능을 평가하지만, 핀 안정기의 작동 범위, 회전 가속도, 양력의 동적효과 등이 고려되지 못한다. 최종 성능평가를 위한 모형시험에 앞서 설계단계에서 운동의 최적 상태를 파악하기 위해 이러한 효과가 고려된 시간영역 해석이 필요하다. 시간영역 시뮬레이션 프로그램인 FINSIM을 개발하여 규칙

파 및 불규칙 해상에서의 모형시험과 비교하여 신뢰성을 검토하였다.

시간영역 시뮬레이션은 기억효과와 핀 안정기의 제어 효과를 고려한 6자유도 운동방정식을 사용하였다. 운동방정식은 다음과 같으며 시간적분에는 Runge-Kutta 4차 방법을 적용하였다(한국해양연구원 해양시스템안전연구소 2002).

$$(M_{ij} + a_{ij}(\infty))\ddot{x}_j + \int_0^t K_{ij}(\tau)\dot{x}_j(t - \tau) d\tau + C_{ij}\dot{x}_j(t) = F_w(t) + F_f(t) \quad (1)$$

$$a_{ij}(\infty) = a_{ij}(w)$$

$$+ \frac{1}{w} \int_0^\infty K_{ij}(\tau) \sin(wt) dt \quad (2)$$

$$K_{ij}(t) = \frac{2}{\pi} \int_0^\infty b_{ij}(w) \cos(wt) dw \quad (3)$$

여기서,  $M_{ij}$ 는 mass matrix,  $a_{ij}$ 는 added mass matrix,  $b_{ij}$ 는 damping coefficient matrix,  $K_{ij}$ 는 retardation function matrix,  $C_{ij}$ 는 hydrostatic coefficient matrix,  $F_w$ 는 wave exciting force,  $F_f$ 는 fin force,  $x_j$ 는 motion vector이다. 핀 안정기의 복원력은 다음과 같다.

$$F_f(t) = \frac{1}{2} \rho U^2 C_L(t) A_{Fin} \quad (4)$$

$$C_L(t) = \frac{dC_L}{d\beta} \beta(t) \quad (5)$$

$$\beta_0 = \tan^{-1}(R\dot{\phi}/U) \quad (6)$$

$$\beta = k_\phi \phi + k_\phi \dot{\phi} + k_\phi \ddot{\phi} \quad (7)$$

$$\beta_e = \beta + \beta_0 \quad (8)$$

여기서,  $\rho$ ,  $U$ ,  $\phi$ ,  $C_L$ ,  $A_{Fin}$ ,  $R$ ,  $\beta_0$ ,  $\beta$ ,  $\beta_e$ 는 각각 유체밀도, 선속, 선박의 횡동요 변위, 핀 안정기의 양력계수, 면적, 회전반경, 고정핀 효과에 의한 각도, 제어된 각도, 유효 안정핀 각도이다. 핀 안정기를 제어할 때 파고의 변화, 핀 안정기의 구동 속도, 작동 범위, 고정된 핀의 효과를 고려하여 다음과 같은 조건을 부가하였다.

Table 3 Test conditions

	Wave condition		Heading (deg.)	Ship speed (knot)
	Period	Height[m]		
Regular	$0.75 \times \omega_n$	2	90	15, 20
	$1.00 \times \omega_n$	2, 4, 6	90	15, 20
	$1.25 \times \omega_n$	2	90	15, 20
	$1.50 \times \omega_n$	2	90	15, 20
Irregular	Sea State 6		90	20
			45	20
	Sea State 7		90	15, 20
			45	20
	Sea State 8		90	20
			45	20

구동속도 if  $\dot{\beta}(t) > \dot{\beta}_{max} \rightarrow \dot{\beta}(t) = \dot{\beta}_{max}$  (9)

작동범위 if  $\beta(t) > \beta_{max} \rightarrow \beta(t) = \beta_{max}$  (10)

#### 4. 핀 안정기 모형시험

핀 안정기의 초기 설계와 시뮬레이션으로 성능 평가를 수행하고 이를 확인하기 위해 모형시험을 수행하였다. 모형시험은 한국해양연구원 해양시스템안전연구소의 해양공학수조에서 자유항주방식으로 수행하였다(최윤락 등 1999). 모형선의 축척은 1/72이고 선박의 주요목과 핀 안정기의 사양은 Table 1과 Table 2에 나와 있다. 모형시험의 조건은 Table 3과 같으며 모든 경우에 대해 핀 안정기가 없는 경우와 핀 안정기를 설치하여 제어한 경우에 대해서 시험을 수행하였다. 핀 안정기는 선형을 고려하여 선체 중앙부에서 선수 쪽으로 46.16 m, 선체 중심선에서 20.86 m, 기선에서 1.99 m에 1 쌍을 설치하였고 작동범위는  $\pm 25$ 도로 설정하였다. 핀 안정기의 최대 회전속도는 38도/초로 설계하였으나 모형시험에서 구현된 최대 속도는 23.6도/초이다. 제어 계인은  $k_\phi = 10.0$ ,  $k_{\dot{\phi}} = 2.02$ ,  $k_{\ddot{\phi}} = 0.0$ (실선으로 환산 시,  $k_\phi = 10.0$ ,  $k_{\dot{\phi}} = 17.1$ ,  $k_{\ddot{\phi}} = 0.0$ )이다.

#### 5. 결과 고찰

불규칙 해상에서의 핀 안정기 시험에 앞서 선박

의 횡동요 고유주기에 해당하는 규칙파 중에서 핀 안정기의 효과를 검토하였다. 규칙파의 파고는 2, 4, 6 m이고, 주기는 16.11초이며 횡파 중에서 시험하였다. Fig. 4에 선속이 15노트일 때 공진주기에 해당하는 규칙파 중에서의 핀 안정기의 효과를 나타내었다. 규칙파 중의 시험결과를 FINSIM의 결과와 비교하여 횡동요 RAO를 구하여 Fig. 5에 나타내었다. 핀 안정기의 효과는 횡동요 공진 주파수에서 뚜렷하게 나타나고 있으며 시험결과는 공진주기에서 횡동요 감소율이 49%로 FINSIM에서 예측한 초기 40% 성능을 초과하였다. 또한 규칙파 횡동요 공진주기에서 선속이 20노트일 때 파고(2, 4, 6 m)에 따른 안정핀의 효과를 Fig. 6에서 확인할 수 있다.

불규칙 해상에서의 핀 안정기의 제어에 의한 횡동요 감소를 Table 4와 Fig. 7 ~ Fig. 8에 정리하

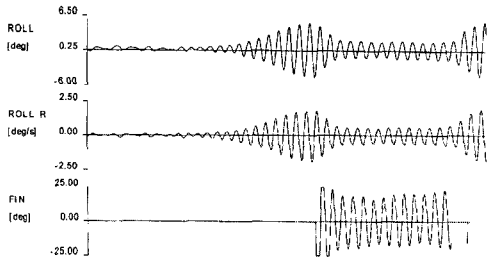


Fig. 4 An example of regular wave tests (Vs=15 knots, Beam sea, Wave height=2m)

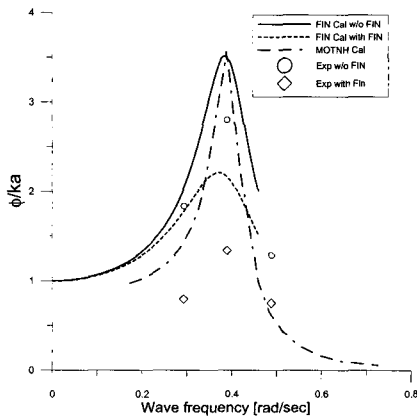


Fig. 5 RAO of roll

였다. Table 4를 보면 횡파 중에서 시험결과와 시뮬레이션 결과가 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 해상상태 6에서 시험 값이 계산 값보다 16% 크게 나왔는데, 이는 시뮬레이션에서 비선형 효과, 선체의 점성감쇠 등 고려하지 못한 효과가 있는 것으로 생각되며, 본 연구의 결과가 보수적인 설계와 해석 결과를 주는 것으로 사료된다. 사파의 경우 핀 안정기의 효과가 계산, 실험 모두 횡파에서보다 우수하게 나타났는데, 사파에서 운동 주파수가 낮아져 핀의 제어가 잘 이루어진 것으로 판단된다.

사파의 경우 전반적으로 계산치가 실험치보다 크게 나타났다.

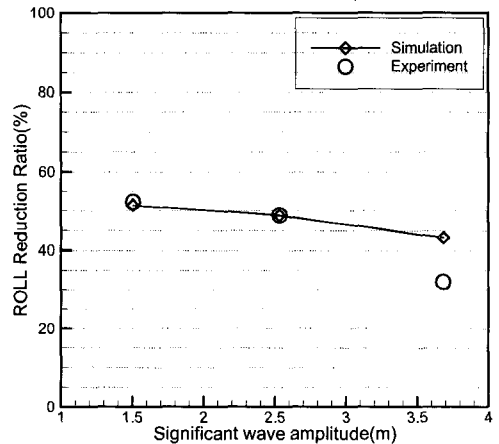


Fig. 6 Roll reduction according to wave height

Table 4 Results of experiment and simulations

Item			SS 6	SS 7	SS 8
Heading 90 deg.					
Roll SSA [deg.]	w/o FIN	Cal.	4.38	11.3	17.65
		Exp.	4.49	9.13	16.39
Roll SSA [deg.]	with FIN	Cal.	3.45	7.42	11.70
		Exp.	2.83	6.02	11.85
Reduction Rate [%]	Cal.		21.2	34.3	33.7
	Exp.		37.0	34.1	27.7
Heading 45 deg					
Roll SSA [deg.]	w/o FIN	Cal.	5.26	6.98	8.92
		Exp.	3.51	4.77	5.57
Roll SSA [deg.]	with FIN	Cal.	3.31	4.55	5.81
		Exp.	1.87	2.56	3.04
Reduction Rate [%]	Cal.		37.1	34.8	34.9
	Exp.		46.7	46.3	45.4

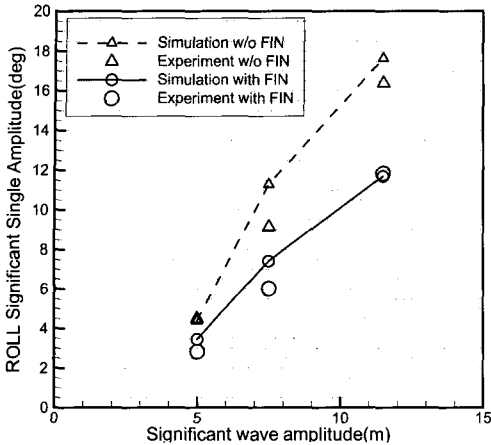


Fig. 7 Roll amplitude at beam sea

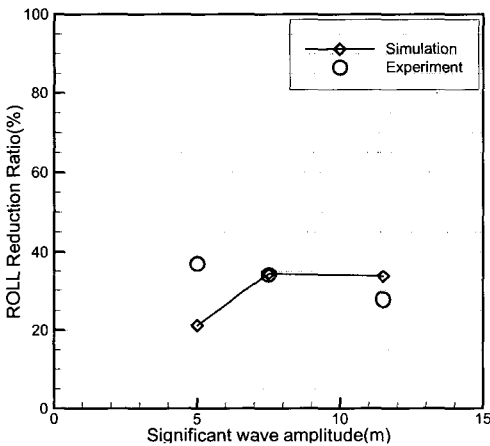


Fig. 8 Roll reduction at beam sea

### 5. 결론

본 연구를 통해 핀 안정기의 초기 용량을 계산할 수 있는 FIND 프로그램, 시간영역 성능해석 프로그램 FINSIM을 개발하고, 모형시험을 수행하여 핀 안정기의 설계에 필요한 종합적인 기법을 수립하였다. 기존의 개별적인 핀 안정기의 연구를 하나로 통합하여 핀 안정기의 설계에서부터 최종 성능 평가까지 과정을 확립하였다. 이는 핀 안정기의 개별적인 설계와 평가에 적용 가능할 뿐만 아니라, 증가 추세에 있는 초대형 컨테이너선의 설계에 하나의 요소기술로 통합 될 수 있으리라 판단된다.

### 후 기

본 연구는 과학기술부가 지원한 ‘차세대 선박의 조종성/안전성 평가기술개발’ 과 공공기술연구회가 지원하는 기본연구사업 ‘해양개발을 위한 설계 엔지니어링 기술 고도화’ 의 일부로 수행되었음을 밝힙니다.

### 참 고 문 헌

- 김선영, 이경중, 손남선, 홍사영, 장택수, 조석규, 2003, 차세대 선박의 조종성/안전성 평가기술 개발, 1차년도 보고서(UCN00350-2437), 과학기술부, 한국해양연구원
- 장택수, 윤동환, 홍사영, 박광동, 송명재, 2002, “컨테이너선의 내항성능 특성고찰”, 대한조선학회 추계학술대회 논문집, pp. 200-205.
- 장택수, 홍사영, 조석규, 박광동, 송명재, 2003, “내항성 데이터베이스 구축과 그의 운항효율에의 응용”, 대한조선학회 춘계학술대회 논문집, pp. 66-72.
- 최윤락, 양승일, 홍석원, 홍사영, 김현조, 1999, 다방향파중 자유항주 선체운동 모형시험 개발, 한국해양연구원 보고서(UCF99912-2201).
- 한국해양연구원 해양시스템안전연구소, 2002, 내항성능 해석 프로그램(MOTNHW) 사용자 지침서.
- 홍사영, 김현조, 최윤락, 신영균, 유병석, 이승준, 2001, “시뮬레이션과 모형시험을 통한 핀안정기의 성능평가”, 한국해양공학회 추계학술대회 논문집, pp. 86-90.
- Conolly, J.E., 1969, “Rolling and its Stabilization by Active Fins”, RINA, Vol. 3, pp. 21-48.
- Hong, S.Y., Kim, H.J., Shin, Y.K. and Yoo, B.S., 2002, “Experimental Study on Performance Evaluation of Fin-Stabilizer”, Proceedings of PACOMS, pp. 172-176.
- Lloyd, A.R.J.M., 1975, “Rolling Stabilizer Fins : A Design Procedure”, RINA, Vol. 117, pp. 233-254.



< 조 석 규 >



< 홍 사 영 >



< 장 택 수 >