

시뮬레이션과 모형시험을 통한 핀 안정기의 성능평가

홍사영^{*} · 김현조^{*} · 최윤락^{*} · 신영균^{**} · 유병석^{**} · 이승준^{**}

^{*}한국해양연구원 해양시스템안전연구소 해양개발시스템연구본부

^{**}한진중공업 특수선설계팀 기본설계파트

Performance Evaluation of Fin-Stabilizer by Model Test and Time-domain Simulation

SA-YOUNG HONG^{*}, HYUN-JOE KIM^{*}, YOON-RAK CHOI^{*},

YOUNG-KYUN SHIN^{**}, BYEONG-SEOK YU^{**} AND SEUNG-JUN LEE^{**}

^{*}Korea Research Institute of Shis and Ocean Engineering, KORDI, P.O. Box 23, Teajon 305-600, Korea

^{**}Hanjin Heavy Industries & Construction Co. LTD., Pongnae-dong Youngdo-gu, Pusan 606-796, Korea

KEY WORDS: Roll 횡동요, Fin-stabilizer 안정핀, Model test 모형시험, Time-domain simulation 시간영역 시뮬레이션

ABSTRACT: Demand of good seakeeping performace is increasing for sea going vessels such as cruisers, naval ships and container ships. Especcilly roll motion is one of major concerns in evaluation of seakeeping performance due to its large resonace motion. Since large roll resonance motion is mainly arised from inherent small damping, use of additional mechnism to provide roll damping can significantly reduce roll motion.

In this paper, a reliable performace evaluation method of fin stabilizer, which is very useful for stabilizing roll motion of mid and high speed vessels, is described. Model test and time domain simulation methods are adopted for performace evaluation in which real operating situation of fin stabilizer can be exactly modelled. Model test and simulation results show good correlations between model test and simulation results.

1. 서 론

과도를 항해하는 선박의 동요는 선박과 탑재된 장비의 성능 저하를 야기하며 승무원의 작업능력을 떨어뜨리는 동시에 승객의 안락감을 저해하여 멀미를 일으킨다. 특히 선박의 동요중 횡동요는 상하동요, 종동요에 비하여 공진 시의 응답이 매우 커서 선박의 성능저하는 물론 심한 경우 전복으로 이어질 위험이 있다. 횡동요의 공진 시 응답이 다른 동요에 비해 큰 이유는 동요에 대한 감쇠력이 다른 동요에 비해 절대적으로 부족하기 때문이므로 별도의 장치를 통하여 선박에 감쇠력을 제공함으로써 공진 시의 응답을 크게 감소시킬 수 있다. 핀 안정기(stabilizing fin)는 선박의 좌, 우현에 장착시켜 핀의 양력을 이용하여 횡동요를 감소시키는 장치로서 중속(10 - 15knots)이상의 선박에 매우 효과적인 능동형 횡동요 감쇠장치이다. 따라서 핀 안정기는 선속이 비교적 빠르며 승객의 안락감을 우선으로 하는 크루즈 여객선, 해상에서 고도의 작전 능력을 요구받는 함정, 일반 화물선에 비해 횡동요 복원력이 부족하여 공진 시 횡동요가 문제가 되는 컨테이너선 등에 널리 사용되고 있다. 특히 대형화 추세가 날로 가속화되고 있는 컨테이너선의

경우 핀 안정기의 요구가 증가할 것으로 예상된다.

본 연구에서는 핀 안정기 모형시스템을 구성하고 자유항주 모형시험을 통하여 설계된 안정핀의 성능평가를 수행하였으며 아울러 핀 안정기 성능 시뮬레이션을 수행하여 모형시험 결과와 비교함으로써 시뮬레이션에 의한 핀 안정기 성능평가의 신뢰성을 검토하였다.

설계된 핀 안정기의 성능평가를 위해서는 설계 시 결정되는 안정핀의 작동 범위, 회전 가속능력 등이 성능평가 시에 엄밀하게 고려되어야 한다. 특히 안정핀의 가속능력 모델링은 안정핀 양력의 동적 효과를 고려하기 위해서 더욱 필요하다. 이를 위해서는 모형시스템 구성 시 안정핀의 최대 회전속도를 맞추어야 하며 안정핀의 작동범위를 제한할 수 있어야 한다. 이러한 제한조건을 수치해석적으로 고려하기 위해서는 시간영역 시뮬레이션방법을 사용해야 하며 시뮬레이션 시에 계측된 횡동요 변위, 속도, 가속도로부터 제어제인에 의해 결정된 핀 제어각이 설계범위를 넘는 경우에는 허용된 최대각이 제어각으로 설정하고 핀의 제어속도가 설계치를 넘어가는 경우에도 허용된 제어속도 범위 내에서 최대속도로 제어가 이루어지도록 함으로써 가능하다. 본 연구에서는 이러한 고려 사항을 모형시험과 시뮬레이션에서 모두 고려하여 모형시험과 시뮬레이션을

통한 안정핀 성능평가 방법의 신뢰성을 높이고자 하였다.

모형시험은 18000톤급 수송선에 고정식 안정핀과 능동 안정핀이 부착된 경우와 안정핀이 장착되지 않은 경우에 대하여 수행되었으며 각 실험조건에 대해 시뮬레이션 결과와 비교하였다. 모형선의 축척비는 1/55.4이며 해상상태는 5와 6, 선속은 해상상태와 파향에 따라 10 - 18노트로 하였다. 시험범위 내에서 핀안정기는 약 30 - 70%의 횡동요 감소율을 보였으며 시뮬레이션 결과도 유사한 예측치를 주었다.

2. 핀안정기 모형시험

2.1 안정핀 구동장치

모형시험에 사용된 안정핀은 선수 및 선미부에 각 1쌍씩 2쌍으로 되어 있다. 2쌍의 안정핀은 횡동요각과 각속도, 각가속도의 입력신호에 따라 동시에 작동이 되어야 하므로 Fig. 1과 같이 하나의 서보모터를 제어하여 2쌍의 안정핀을 동시에 구동할 수 있도록 하였다. 서보모터의 축은 기어박스를 통하여 좌, 우현의 안정핀을 같은 크기의 각과 반대 방향으로 회전시키도록 되어있다. 기어박스에 직접 연결된 후방 안정핀의 회전축과 전방 안정핀의 회전축은 각 회전축에 설치된 회전팔을 봉으로 연결함으로써 동시에 구동된다. 안정핀의 제어는 50Hz로 이루어졌다.

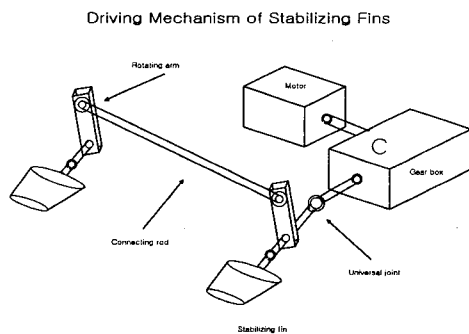


Fig. 1 Driving mechanism of stabilizing fin model

2.2 안정핀

전, 후 안정핀은 동일한 크기와 형상을 가지고 있으며 단면 형상은 NACA0015이다. 안정핀의 작동범위는 ± 26 도로 제한되어 있다.

구분	위치		면적 (m ²)	양력계수 (26 deg.)
	From Midship	From Baseline		
전방 안정핀	+14.5m	+1.9m	6.2	1.1
후방 안정핀	-16.7m	+1.6m	6.2	1.1

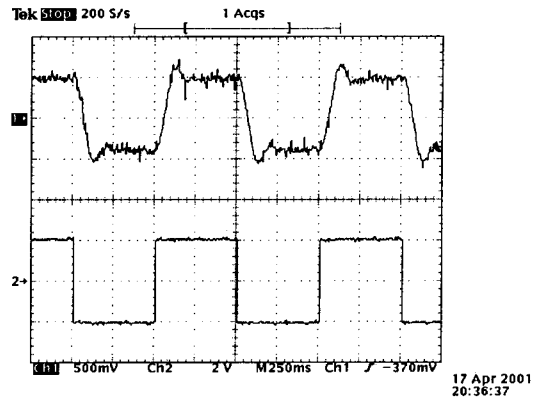


Fig. 2 Fin rate record(± 10 degree activation, input: square wave)

제작사의 사양에 따르면 안정핀의 초당 회전 속도는 최대 약 38 deg./sec.이며 이를 모형선 단위로 환산하면 약 280 deg./sec. 이다. 모형시험에서 구현된 안정핀 회전속도는 약 200 deg./sec. 이다.

2.3 모형시험 수행

모형선은 1/55.2 축척비를 갖는 수송선이며 FRP로 만들어졌다. 모형시험은 한국해양연구원 해양시스템안전연구소의 해양공학수조에서 자유항주방식(최 외, 1999; 홍 외, 1992)으로 수행되었다. 횡동요에 대한 안정핀의 효과를 검토하기 위해 모형선에 안정핀이 장착되지 않은 경우, 장착되었으나 작동을 하지 않은 경우, 작동을 한 경우 3가지에 대한 시험을 수행하였다. 시험조건을 표로 정리하면 다음과 같다.

Table 1 Summary of test conditions

해상상태	파향 (deg.)	선속 (knots)	안정핀 상태		
			제거	고정	작동
5	150	10	×	○	○
		18	○	○	○
	120	10	×	○	○
		18	○	○	○
	90	10	×	○	○
		18	○	○	○
6	120	15	○	○	○
	90	15	○	○	○
	60	15	○	○	○

표에서 ○표는 시험이 수행된 것을 나타내며 ×는 시험이 수행되지 않은 경우를 나타낸다.

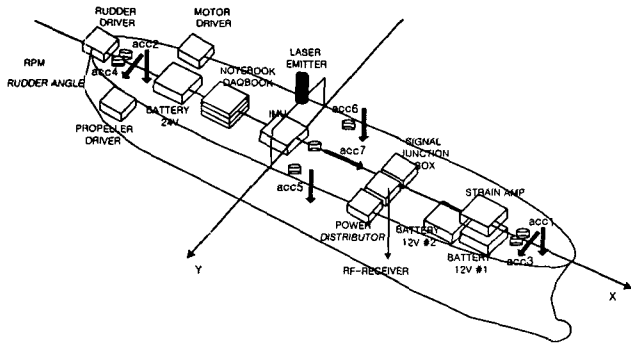


Fig. 3 Free running auto-pilot seakeeping model system

3. 핀 안정기 성능 시뮬레이션

해상상태 5와 6에서 실험이 수행되지 않은 파향과 선속에 대한 안정핀 작동시의 성능을 예측하기 위해 시간영역에서 안정핀의 제어 영향을 고려하여 선체운동 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션의 기본 프로그램은 MOTNHW(1997)의 시간영역 운동해석 모듈인 SSIMUL2(홍 외, 1999; 홍 외, 1987)이며 여기에 안정핀의 제어 효과를 첨가하였다(Lloyd, 1989).

프로그램에서 고려된 안정핀의 제어 효과는 다음과 같다.

-안정핀의 각도 결정

횡동요의 변위(ϕ), 속도($\dot{\phi}$), 가속도($\ddot{\phi}$)에 따라 정해진 제어게인($K_\phi, K_{\dot{\phi}}, K_{\ddot{\phi}}$)에 비례하는 안정핀의 회전각도를 결정한다.

$$\beta_D = K_\phi \phi + K_{\dot{\phi}} \dot{\phi} + K_{\ddot{\phi}} \ddot{\phi} \quad (3.1)$$

게인값은 Blohm & Voss에서 산출한 standard gain인 ($K_\phi, K_{\dot{\phi}}, K_{\ddot{\phi}}$) = (24.31, 43.96, 8.75)를 사용하였다.

-유효 안정핀 각도 결정

횡동요에 의한 안정핀의 회전과 선속에 의해 유기되는 안정핀의 입사각을 결정하여 앞서 결정된 안정핀 회전각에 더한다.

$$\beta_E = \beta_D + \beta_0 \quad (3.2)$$

$$\beta_0 = \tan^{-1}\{R\dot{\phi}/U\}$$

R은 무게중심과 안정핀 위치에 의해 결정되는 회전반경이며 U는 선속이다.

-양력과 복원 모멘트 산출

복원 모멘트는 각 핀에 걸리는 양력과 회전반경을 곱함으로써 얻는다.

$$M_R = \sum_{i=1}^4 M_{Ri} \quad (3.3)$$

$$M_{Ri} = \frac{1}{2} \rho U^2 A_i C_{Li} R_i$$

ρ, U, A, C_L, R 은 각각 유체밀도, 편면적, 양력계수, 회전반경이며 밀첨자 i는 각 핀의 번호이다.

이 밖에도 핀의 점성효과, 물입자 속도, 빌지킬과 핀 위치

에 따른 상호 간섭효과 등 부가적인 영향을 예상할 수 있으나 이러한 효과는 시뮬레이션에서 고려되지 않았다.

아래의 그림에는 규칙 횡파중 안정핀의 효과를 시뮬레이션한 결과를 제시하였다. 주기는 12.88초이고 파고는 2미터이다. 300초 시점에서 안정핀을 작동시켰으며 안정핀이 작동하자마자 횡동요의 수준이 원래의 10%로 떨어져 횡동요 감소율이 90%로 나타났다. 규칙파중 모형시험 결과는 동일 조건에 대해 85%의 횡동요 감소율을 나타내었다. 불규칙파중에서의 시뮬레이션은 30분 동안 수행되었으며 안정핀은 시뮬레이션 시작과 동시에 작동시켰다. 결과는 시뮬레이션 후 10분 후 20분 동안의 결과를 스펙트럼 해석한 값을 취하였다.

Fig. 6에는 해상상태 6, 선속 15knots, 횡파중에서 안정핀이 없는 경우, 고정핀을 장착한 경우, 안정핀을 제어한 경우(fin rotating rate=38deg/s, 16deg/s)에 대한 시뮬레이션 결과를 시계열 데이터로 비교하였다. 안정핀의 유무와 fin 회전각속도에 따라 횡동요 제어효과에 차이가 있음을 볼 수 있으며 특히 fin 제어각속도의 차이에 따른 성능차이를 알 수 있다.

Simulation of Stabilizing Fins: Vs=18knots, Heading=90deg. Regular Wave: H=2m

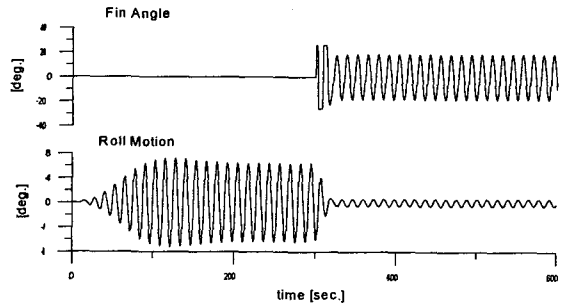


Fig. 4 Simulation of stabilizing fin effects in regular beam wave

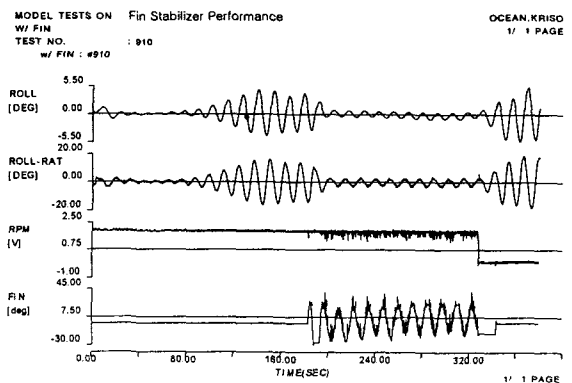


Fig. 5 Model test of stabilizing fin effects in regular beam wave

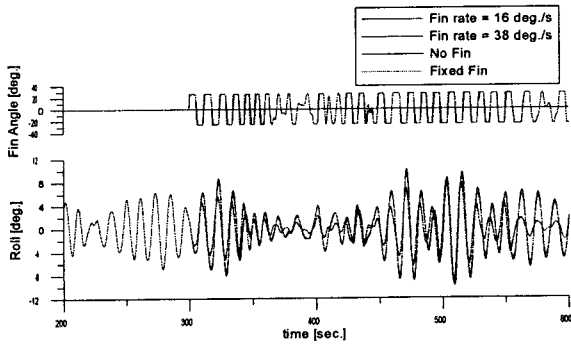


Fig. 6 Simulation of stabilizing fin effects in irregular beam wave

4. 결과 고찰

4.1 규칙파중 안정핀의 제어 효과 검토

불규칙 해상에서의 안정핀의 효과 검토에 앞서 횡동요 고유 주기에 해당하는 규칙파 중에서 안정핀의 제어 효과를 모형시험을 통해 검토하였다. 규칙파의 파고는 2미터, 주기는 12.88초에 해당하며 파향은 횡파로 하였다. 선속은 18, 15, 10노트로 하였다. 규칙파중의 시험에 의해 나타난 안정핀의 제어효과는 다음과 같이 표로 정리하였다. Fig. 5에는 파주기 12.88초, 함속 18노트의 경우 안정핀의 제어 효과를 나타내었다. 안정핀이 작동과 동시에 횡동요의 수준이 급격히 낮아짐을 볼 수 있다.

Table 2 Roll reduction due to activating stabilizing fins (regular waves)

Wave Period [sec.]	Wave Height, Nominal [m]	Ship speed [knots]	Roll Reduction Rate [%] [*]		Remarks
			EXP	SIMUL	
12.88	2.0	18	84.7	89.3	Standard gain
		15	77.6	84.0	Standard gain
		10	41.8	40.0	Standard gain

* Roll Reduction Rate = $(1 - \text{Roll}_{\text{stab}} / \text{Roll}_{\text{pass}}) \times 100$ [%]
 $\text{Roll}_{\text{stab}}$: RMS of roll motion after activation of fins
 $\text{Roll}_{\text{pass}}$: RMS of roll motion before activation of fins

4.2 불규칙파중 안정핀의 제어 효과 검토

해상상태 5와 6에서 안정핀의 제어에 의한 횡동요 감소율을 아래와 같이 표로 정리하였다. 비교의 일관성과 안정핀을 제거한 경우의 시험에 대한 결과가 부족한 점을 고려하여 감소율의 기준은 안정핀을 부착하였으나 작동시키지 않은 경우를 기준하였다. 안정핀을 제거한 경우에 대한 횡동요 감소율은 실험치가 있는 경우에만 나타내었다. 선속 15노트와 파 입사각 150도, 30도와 같이 실험치가 없는 경우는 시뮬레이션 결과를 나타내었다.

시뮬레이션에서는 선체와 빌지키일 등에 의한 점성감쇠를 엄밀하게 고려할 수가 없으므로 먼저 안정핀을 부착하였으나 작동시키지 않은 실험치를 기준으로 하여 점성감쇠효과를 수정함으로써 시뮬레이션 결과를 실험치와 맞추고 그 상태에서 안정핀을 작동시킨 결과를 시뮬레이션에 의한 안정핀 제어 효과로 하였다.

Table 3 Roll reduction due to activation of stabilizing fins (irregular waves)

Sea State	Wave Incidence [deg.]	Ship speed [knots]	Roll Reduction I Rate [%] [*]		Roll Reduction II Rate [%] [*]	
			EXP	SIMUL	EXP	SIMUL
5	150	10	30.6	22.3	-	24.5
		15	-	37.0	-	38.8
		18	53.0	52.6	59.2	56.8
	120	10	32.8	11.9	-	14.3
		15	-	26.8	-	28.6
		18	38.9	39.0	53.0	41.1
	90	10	36.2	17.5	-	21.6
		15	-	26.6	-	44.2
		18	49.0	53.3	50.5	56.4
	60	10	22.3	21.3	-	24.8
		15	-	47.8	-	50.5
		18	63.1	70.9	71.2	72.8
30	10	-	54.4	-	57.4	
	15	-	77.6	-	90.0	
	18	-	63.9	-	65.1	
6	150	15	-	48.2	-	51.0
	120	15	42.7	27.0	49.7	31.6
	90	15	27.8	30.9	32.3	37.1
	60	15	27.9	35.9	39.8	40.7
	30	15	-	58.4	-	83.1

* Roll Reduction Rate I = $(1 - \text{Roll}_{\text{stab}} / \text{Roll}_{\text{pass}}) \times 100$ [%]
 Roll Reduction Rate II = $(1 - \text{Roll}_{\text{stab}} / \text{Roll}_{\text{w/o}}) \times 100$ [%]
 $\text{Roll}_{\text{stab}}$: RMS of roll motion after activation of fins
 $\text{Roll}_{\text{pass}}$: RMS of roll motion before activation of fins
 $\text{Roll}_{\text{w/o}}$: RMS of roll motion without fins

실험치를 기준으로 보면 해상상태 5에서는 선속 10노트에서 파 입사각에 따라 약간의 차이는 있으나 전체적으로 약 30% 정도의 횡동요 감소율을 나타내었다. 선속 18노트에서는 약 50% 이상의 횡동요 감소율을 보였다. 파 입사각 60도에서 따라 안정핀 제거 기준 최고 71.2%를 기록하였다. 해상상태 6에서는 안정핀 제거 상태 기준 30 - 50%의 횡동요 감소율을 나타내었다. 횡동요 감소율이 횡파보다는 사파의 경우에 전반적으로 높게 나타났는데 이는 횡동요 기진 모멘트가 상대적으로 작은 경우가 감소율이 높은 것으로 판단된다. 특히 선미 사파의 경우 횡동요 감소율이 높은 것은 상대적으로 운동주파수가 낮아

저 안정핀이 제어명령을 보다 더 잘 추종한 이유로 생각된다. 시뮬레이션 결과는 대체적으로 실험치와 좋은 상관관계를 나타내었다. 특히 선속 15 노트 이상에서는 정량적인 차이가 10% 이내로 좋은 일치를 보였다. 실험치가 대부분의 경우 시뮬레이션 예측치보다 좋게 나타났는데 이는 시뮬레이션에서 고려하지 못한 부가적인 효과가 있는 것으로 생각된다.

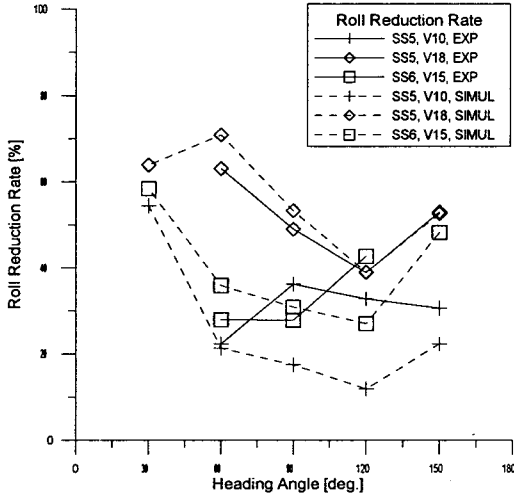


Fig. 7 Roll reduction performance in irregular waves in model tests

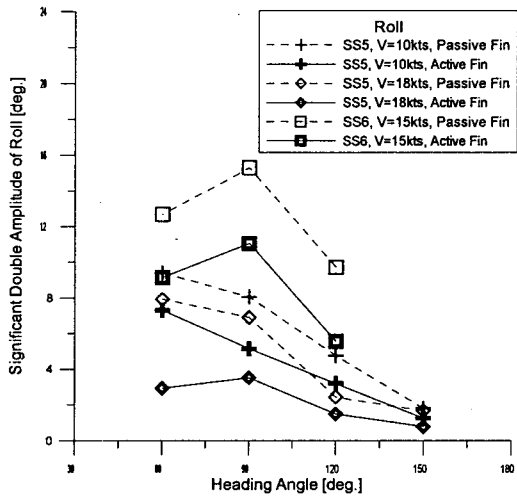


Fig. 8 Roll reduction in irregular waves in model tests

4. 결 론

안정핀의 성능에 중요한 영향을 미치는 안정핀의 작동범위와 안정핀의 작동 각속도를 엄밀히 고려할 수 있는 안정핀 성능평가 모형시험 기법과 시간영역 시뮬레이션 기법을 개발하였다.

모형시험을 통해 안정핀의 성능이 해상상태 5, 6에서 선속

과 파향에 따라 약 30 -70%정도의 성능을 보이는 것을 확인하였으며 모형시험 결과는 선형, 빌지키일, 안정핀간의 상호간섭 영향을 무시한 시뮬레이션 결과와도 대체로 좋은 상관관계를 보이는 것으로 나타났다.

본 연구를 통해 개발된 모형시험 기법과 시뮬레이션 프로그램은 안정핀의 성능평가와 안정핀 시스템의 사양설계 검토에 유용하게 사용될 것으로 기대된다.

보다 엄밀한 성능평가를 위해서는 안정핀의 동적 거동에 따른 양력의 동적 변화 효과가 고려되어야 할 것으로 생각되며 이에 대한 실험 및 이론해석 데이터의 구축이 요구된다.

참 고 문 헌

선박내항성능 해석 프로그램 (MOTNHW) 사용자 지침서, Ver. 1.1, 한국기계연구원 선박해양공학연구소, 해양기술부 운동성기술그룹, 1997.

최윤락, 홍사영, 김현조 외, "다방향파중 자유항주 선체운동 모형시험 기법 개발", 한국해양연구소 보고서 UCE99912-2201, 1999.

홍사영 외, "충격하중에 대한 선박의 천이 운동응답 시뮬레이션 연구", 제 38차 KTTTC Workshop 내항성·조종성·안정성 분과, 울산, 1999.

홍사영 외, "컨테이너선의 불규칙파중 운동응답에 대한 실험적 고찰", 대한조선학회지 제24권 제2호, 1987.

홍사영, 이종식, 홍석원, "실선운동 계측 시스템 개발", 대한조선학회지 제29권 제3호, 1992.

Lloyd, A.R.J.M., *SEAKEEPING: Ship Behavior in Rough Weather*, Ellis Horwood Series in Marine Technology, John Wiley & Sons, 1989

Miles, M.C., "Measurement of Six Degree of Motions Using Strapdown Accelerometers", Hydraulic Laboratory, National Research Council, Ottawa, Canada.

"Report of the Seakeeping Committee", Proceedings of the 19th ITTC Conference, Madrid Spain, 1990.

2001년 월 일 원고 접수

2001년 월 일 수정본 채택