

LOA 47.7m급 쌍동선의 저항 및 내항 시험

전호환**, 정용관*, 정성섭*, 장용훈*, 하상운***, 김진문****

Resistance and Seakeeping Tests of a LOA 47.7m Class Catamaran

by

H.H. Chun**, Y.K. Chung*, S.S. Chung*, R.H. Chang*, S.W. Ha***
 and J.M. Kim****

요 약

47.7m급 쌍동선의 1/21.5 축척 모형선으로 예인수조에서 저항 및 내항성능 시험을 수행하였다. 저항 시험은 선미트림탭을 부착하여 트림탭각의 변화에 따른 트림 및 저항변화를 조사하여 트림 탭이 없는 경우와 비교하고 그 영향을 조사하였다. 해상상태 3,4 및 5에서 3가지 실선속력에 대해서 상하 및 종운동을 계측하였으며 갑판위 5점에서 수직가속도도 계측하였다. 측정된 가속도 값은 ISO 2631/3의 규정과 비교하여 설계선형의 우수함을 보였다.

Abstract

The seakeeping and resistance tests of a 47.7m class catamaran are conducted in a towing tank with the 1/21.5 scale model. The effect of the trim tab on the resistance is investigated with the trim tab angle variations and the resistance and trim angle of the catamaran with the trim tab are compared with those without the trim tab. The heave and pitch motions are measured at the three full scale speeds in sea state of 3,4 and 5 and the vertical accelerations at five points on the deck are also measured. The measured accelerations are compared with the criteria of ISO 2631/3 and it is shown that the seakeeping performance of the catamaran is good.

발 표 : 1999년도 대한조선학회 춘계연구발표회('99. 4. 22)

접수일자 : 1999년 5월 28일, 재접수일자 : 1999년 9월 17일

*학생회원, 부산대학교 조선해양공학과 대학원

**정회원, 부산대학교 조선해양공학과(생산기술연구소)

***정회원, (주)한국해사기술

****정회원, (주)일홍조선

1. 서론

지난 20여년 동안 다양한 형태의 고속선이 개발되어 오고 있으며 이에 대한 연구들도 활발하게 진행되어 오고 있다. 지난 10년 동안의 고속선 개발 결과와 동향들은 2년마다 열리는 국제 고속해상수송 학회 논문집[1~4]에서 잘 이해할 수 있다고 본다. 지금까지 개발된 고속선들은 여러 가지 형태가 있지만 쌍동선(catamaran)형이 가장 많은 양을 차지하고 있다. 쌍동선형의 내항성능과 속력을 향상시키기 위해 수중익 혹은 포일(foil)을 부착한 선형과, 수선면적을 감소시킨 소수선면 쌍동선(SWATH ship)등 다양한 형태로 개발되고 있다. 국내에서도 많은 연구, 개발과 건조가 진행되어오고 있으며 수중익 쌍동선의 설계와 건조[5,6], SWATH의 선형설계 및 성능해석[7,8]등이 있다.

최대 운항속력 25노트이고 해상상태 4에서도 필요시 최대 운항속력을 유지할 수 있도록 저항성능과 내항성능이 우수한 LOA 47.7m급 쌍동선형을 (주)한국해사기술에서 설계하였다. 설계 선박은 최적 트림각을 유지하여 운항속력을 향상시킬 수 있도록 하기 위해 선미트림탭(stern trim tab)을 부착하였다. 본 연구는 설계 쌍동선형의 저항 및 내항성능 시험 결과이다. 트림탭의 부착 유무 및 탭각의 변화에 따른 저항시험을 수행하여 최적 트림탭각을 찾았다. 해상상태 3, 4 및 5에서 수직상하운동(heave) 및 종운동(pitch)을 계측하였으며 또한 갑판위 5점에서 수직가속도를 계측하였다. 측정된 가속도 값은 ISO 2631/3의 규정과 비교하여 내항성능을 검증하였다.

2. 모형과 시험장비

설계선은 최대 운항속력 25노트인 LOA 47.7m로서 목포 소재 (주)일홍조선에서 건조 예정으로 있으며 주요제원은 Table 1에 보여주고 있으며 선도와 일반 배치도는 각각 Fig.1과 Fig.2에 보여주고 있다.

Table 1 Main dimension of the catamaran

LOA	47.7m
LWL	43.18m
Breath(B)	12.5m
Draft(T)	1.68m
LCG	-4.10m form Midship
KG	3.10m

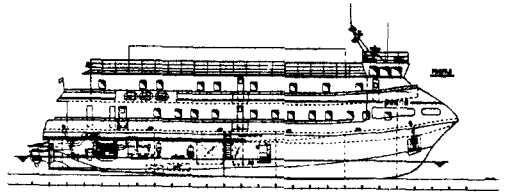


Fig.1 General arrangement

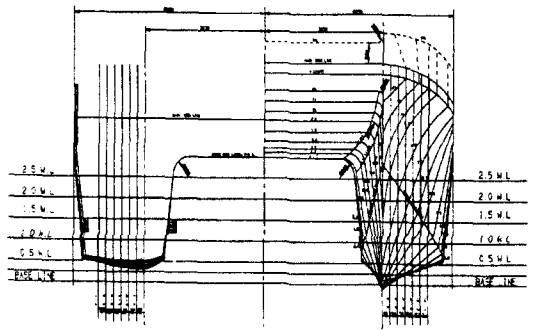


Fig.2 Body plan

선형은 저항성능과 내항성능을 고려하여 좌우 비대칭으로 설계하였다. 모형선은 수조의 조파능력을 고려하여 축적비 1/21.5로 FRP로 제작하였다. 항주 트림을 제어하여 최적 운항상태를 만들기 위해 선미트림탭(Stern Trim Tab, 이후부터 S.T.로 부름)을 부착하였으며 실선크기로

가로 세로 80cm의 크기 2개를 Fig.3에 보여주는 바와 같이 선미 선체바닥과 일치되도록 부착하였다. 재질은 아크릴(arcryl)로 하였으며 각도조절의 정확성을 위해 0°, 2°, 4° 로 각각 제작하여 필요시에 부착하여 시험을 수행하였다.

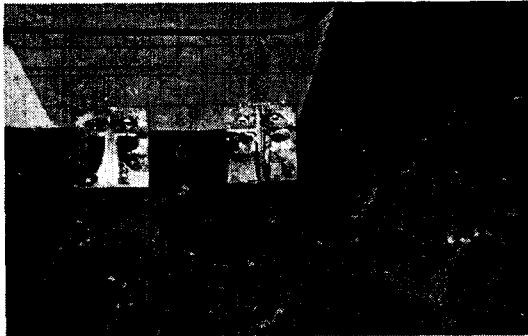


Fig.3 Model with stern trim tab(demihull)

부산대학교 예인수조의 제원은 길이 86m, 폭 5m, 물 깊이 3m이며 예인전차의 최대속력은 7.0m/s이다. 저항동력계는 최대하중 50N인 고정식 동력계를 사용하였으며 선미와 선수에 포텐시오미터를 사용하여 선미, 선수 침하량을 측정하여 트림을 계산하였다. 10개의 부유체로 구성된 Snake형의 조파기를 사용하여 ITTC스펙트럼을 사용하여 불규칙파를 생성하였다. 운동계측은 6방향 변위 계측기를 사용하여 전후동요(surge)는 구속하고 수직 및 종운동을 측정하였다. 수직가속도는 스트레인 게이지(strain gage)형 가속도 변환기를 사용하였으며 최대용량은 5g(g는 중력가속도임)이다.

3 저항시험 및 결과해석

저항시험은 Table 2에 보여주는 대로 3가지 흘수에서 15~27노트의 속력 범위에서 수행하였다. T=1.68m가 만재흘수이다. 선미트림탭은 0°, 2°, 4° 로 부착하였으며 트림탭이 부착된 경우는 18, 22 및 25노트의 속력에서 저항을 측정하였다.

Table 2 Conditions of resistance tests

Draft	Speed(Knots)	Trim Tab
T = 1.68M (Full load)	18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27	w/o
T = 1.54M	"	w/o
T = 1.78M	15, 16, 16.5, 17, 18, 20, 22, 24, 25, 27	S.T. = 0°
T = 1.68M	18, 22, 25	S.T. = 0°, 2°, 4°
T = 1.54M	18, 22, 25	S.T. = 0°, 2°, 4°

시험은 ITTC에서 규정하는대로 Froude의 상사법칙을 따라서 수행하였으며 해석은 1978 ITTC 실선 확장법(9)을 따르되 2차원 해석법을 적용하였다 :

$$C_R = C_{TM} - C_{FM}$$

$$C_{TS} = C_R + C_{FS} + C_A + C_{AA}$$

여기서 C_R 은 잉여저항계수, C_T 는 총저항계수, C_F 는 마찰저항계수, C_A 는 모형선-실선 상관계수이고, C_{AA} 는 공기저항계수이다. 침자 M과 S는 각각 모형선과 실선을 의미한다. 모든 계수는 $0.5\rho S U^2$ 으로 무차원화하였다. ρ 는 물의 밀도, S는 선박의 침수표면적, U는 선박의 진행속도이다. 본 해석에서는 C_A 는 0으로 하였고, C_{AA} 는 0과 0.7인 2가지 경우에 대해서 비교하였다. Fig.4에 3가지 흘수에 대해서 모형선의 총저항 및 잉여 저항계수를 후르드수 (Fn) = U/\sqrt{gL} (L은 수선간 길이)로 보여주고 있다. T=1.78m인 경우는 트림탭을 부착하지 않았기 때문에 트림탭을 부착한 다른 두 흘수와의 결과와 직접적인 비교는 어렵겠지만 전체적으로 $Fn=0.43$ 부근에서 저항계수가 정점으로 되고 속력이 증가할수록 저항계수가 감소하는 전형적인 쌍둥선의 경향을 보이고 있다.

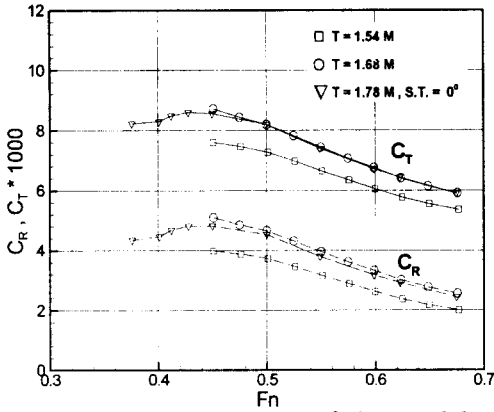


Fig.4 C_T and C_R curve of the model

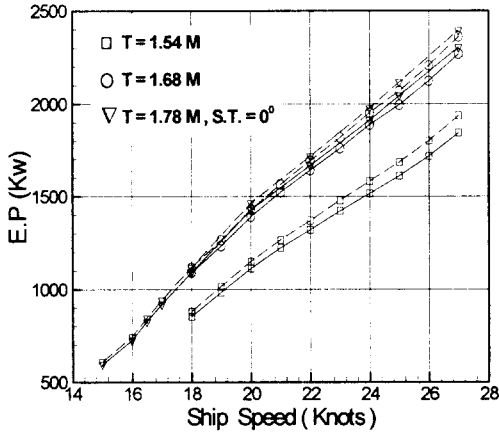


Fig.5 Comparison of effective power at 3 draft with and w/o air drag ($C_{AA}=0.0$ for solid line. $C_{AA}=0.7$ for dotted line)

Fig.5는 3가지 흘수에 대한서의 유효마력을 보여주고 있으며 공기 저항계수 0.7을 사용하여 공기저항을 포함한 유효마력도 보여 주고 있다. Fig.6은 $T=1.68m$ 에서 트림탭의 부착각 변화에 따른 유효마력 변화를 보여주고 있다. 0° 의 트림탭을 부착하여도 유효마력이 감소함을 알 수 있으며 $S.T=0^\circ, 2^\circ, 4^\circ$ 에서는 22노트와 25노트의 속력에서 상당한저항감소가 있음을 알 수 있다(25노트에서 약 4.3% 유효마력감소). 이는 트림탭의 부착으로 길이의 증가효과와 트림탭에 의한 양력의 발생으로 선미트림이 감소함으로 생긴다는 것은 이미 알려진 사실이다[10,11].

본 선박은 물분사추진기(waterjet)를 사용할 것이며 추진효율과 시마진(sea margin)을 고려하여 2000kw 엔진 2기로서 최대속력 25노트를 유지할 수 있다고 생각된다.

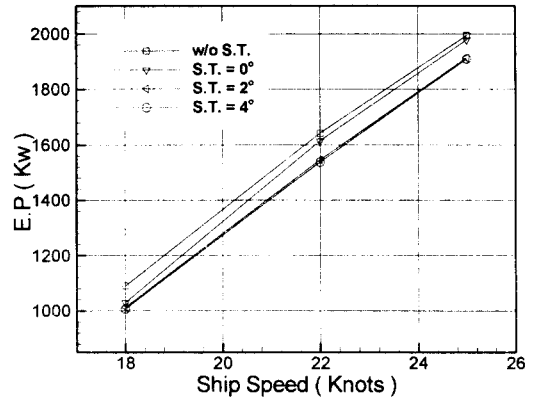


Fig.6 Effective power with and w/o stern tab ($T = 1.68M$)

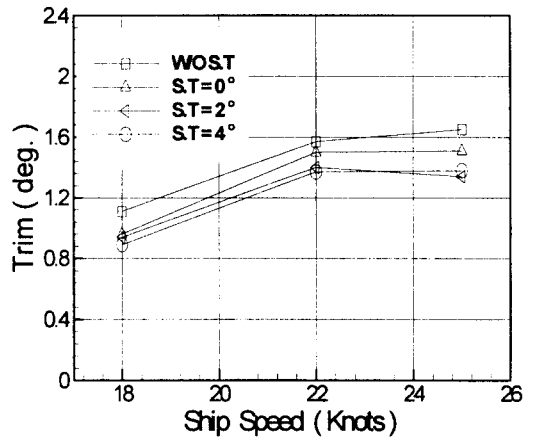


Fig.7 Trim angle vs speed with S.T. angle change ($T = 1.68M$)

Fig.7은 트림탭이 있을 경우와 없을 경우에 대해서 속도 및 트림각 (+가 선수가 올라가는 방향)의 변화를 보여주고 있다. $S.T.=0^\circ$ 일 때도 트림각을 변화시키고 있으며 $S.T.=2^\circ$ 와 4° 인

경우 없을 경우와 비교해서 트림각이 상당히 감소함을 알 수 있다. 이러한 이유 때문에 Fig.6에서 보여주는 바와 같이 유효마력이 감소함을 알 수 있다. 따라서 속도에 따라 적절하게 트림탭 각을 조절하면 유효마력을 감소시킬 수 있으며 본 쌍동선의 경우 18~25노트의 범위에서는 3° ~4° 의 트림탭각이 최적임을 알 수 있다.

4. 내항성능 시험 및 결과 해석

내항성능 시험은 모두 설계 만재배수량 출수에서 수행하였다. 해상상태 3, 4, 5에서 실선속력 10, 20, 25노트에 대해 수직 상하운동 및 종동요 운동을 계측하였다. 또한 FP, 조타실, VIP Room, CG 및 주갑판 승조원실 에서의 수직가속도를 계측하였다. Table 3은 가속도가 계측된 위치를 보여주고 있다. 모든 운동시험은 선미탭을 0° 로 부착하여 수행하였다.

Table 3 Position of the acceleration measurement

Position	Room	Height from keel	Longitudinal position (from FP)
P1	FP	5.1m	0m
P2	Wheel room	8.1m	5m
P3	VIP Room	4.9m	11m
P4	Main deck crew room	4.9m	21.5m
P5	CG	3.1m	25.5m

부산대학교 수조실에 설치된 조파기는 10개의 부유체로 구성된 snake 형식이다. 시험에 사용된 불규칙파는 ITTC 스펙트럼을 사용하였으며

Table 4에 보여주는 3가지 해상상태를 재현하였다.

사용되어진 ITTC 스펙트럼 공식은 다음과 같다.

$$S(\omega) = \frac{A}{\omega^5} e^{-B/\omega^4}$$

여기서

$$A = \frac{0.11 \times H_{1/3}^2}{(0.8108 \times T_{1/3})^4}$$

$$B = \frac{0.44}{(0.8108 \times T_{1/3})^4}$$

ω : 파 원주파수 (rad / sec)

$H_{1/3}$: 유의 파고(m)

$T_{1/3}$: Modal Period (sec) 이다.

그러나 측정된 파고로부터 분석한 통계적 특성은 다소 달리 나타났으며 Table 4에 그 결과를 보여주고 있다. 해상상태 3과 4는 비슷한 결과를 주고 있으나 해상상태 5인 경우는 파고가 다소 낮게 나타남을 볼 수 있다. 이의 원인은 부산대학교 조파기의 파형 생성 한계 때문으로 분석된다.

Table 4 Comparison of sea state statistics inputed and measured

S.S	theory		measurement	
	$H_{1/3}$ (m)	Modal period $T_{1/3}$ (sec)	$H_{1/3}$ (m)	Modal period $T_{1/3}$ (sec)
3	0.88m	7.5	0.86m	7.88
4	1.88m	8.8	1.77m	9.2
5	3.25m	9.7	2.24m	10.6

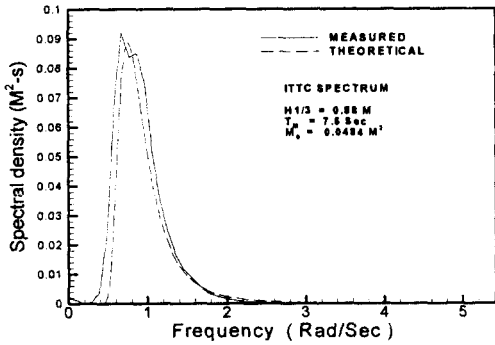


Fig. 8 Wave spectrum (theory and measurement)

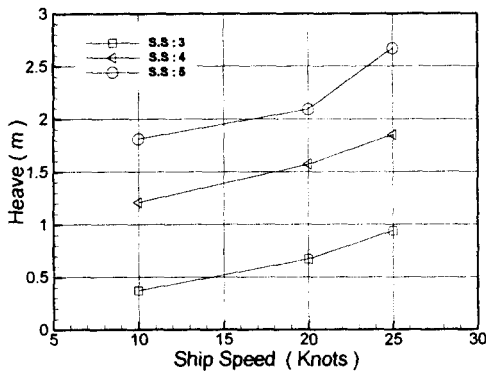


Fig. 9 Significant double amplitude of heave in irregular waves

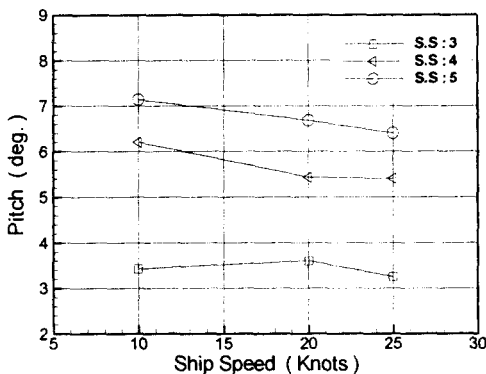


Fig. 10 Significant double amplitude of pitch in irregular waves

Fig. 8에 해상상태 3인 경우의 시험에 사용된 파도의 스펙트럼을 보여주고 있다.

Fig. 9와 Fig. 10에 3가지 해상상태에서의 10, 20 및 25노트에서 측정된 수직운동 및 종동요 운동의 유의값(significant double amplitude)을 보여주고 있으며 속력과 파고가 증가함에 따라 수직운동은 크게 증가하고 있으나 일정 해상상태에서 속도가 증가함에 따라 종동요 운동은 감소되는 경향을 보이고 있다. 이는 일반적인 쌍동선의 운동경향으로 볼 수 있다.

Fig. 11, 12, 13에 해상상태 3, 4 및 5에서 갑판위 5점에서 측정한 가속도의 제곱평균값(root mean square value)을 보여주고 있다. 위치 1에서부터 5까지의 순으로 선수에서 선미방향으로의 계측점이기 때문에(Table 3 참조) 선수로 갈수록 가속도가 심하게 증가하고 있음을 알 수 있다. 또한 해상상태가 증가할수록 가속도의 증가량이 클 수 있다.

해상상태 4에서 3가지 속력에 대한 설계선의 가속도 성능을 ISO 2631/3의 기준[12]에 근거한 1/3 Octave Band 가속도 제곱평균값을 계산하여 Fig. 14~16에 주었다. 해상상태 4에서는 설계속력 25노트까지 멀미발생 30분 기준을 모두 만족하고 있음을 알 수 있다. 또한 무게중심에서는 2시간 기준까지도 모든 속력에서 만족되고 있음을 알 수 있다.

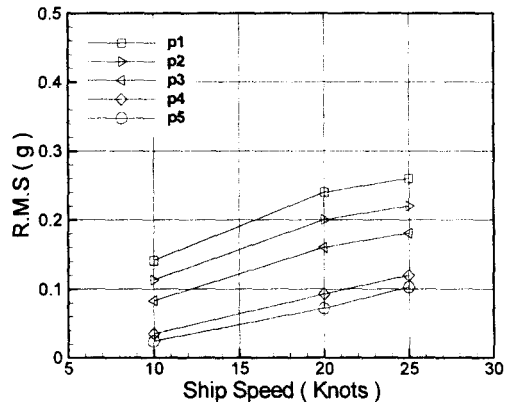


Fig. 11 R.M.S value of vertical acceleration in irregular head waves (S.S = 3)

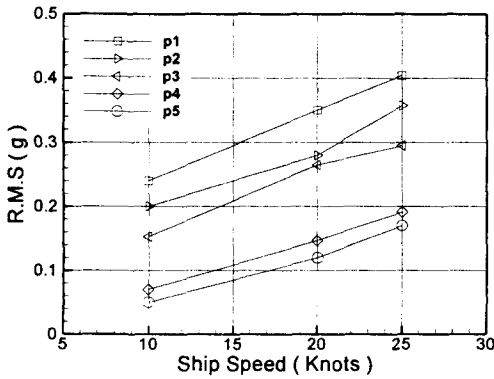


Fig.12 R.M.S value of vertical acceleration in irregular head waves (S.S = 4)

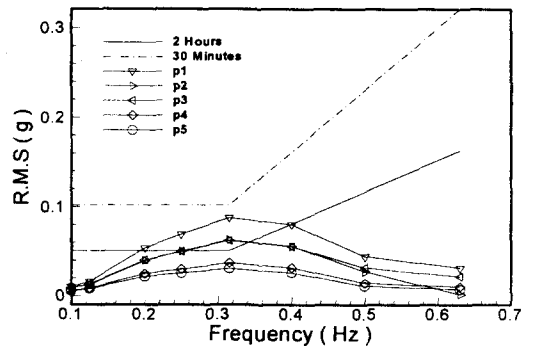


Fig.15 1/3 octave band data of vertical acceleration (S.S = 4 , 20 Knots)

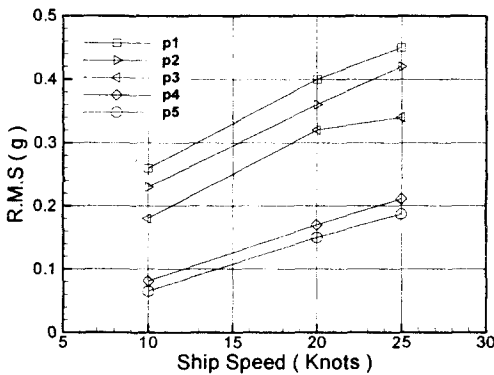


Fig.13 R.M.S value of vertical acceleration in irregular head waves (S.S = 5)

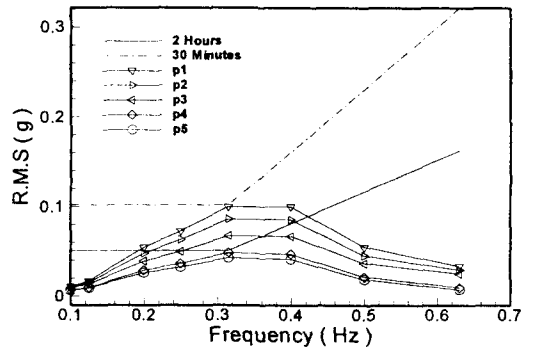


Fig.16 1/3 octave band data of vertical acceleration (S.S = 4 , 25 Knots)

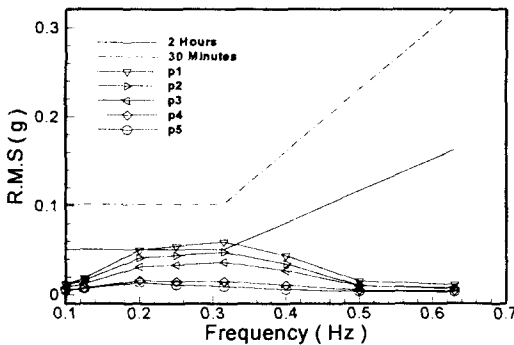


Fig.14 1/3 octave band data of vertical acceleration(S.S = 4 , 10 Knots)

5 결론

LOA 47.7m급 쌍동선형의 저항 및 내항 시험을 수행하고 그결과를보고하였다. 선미트림타입을 부착하면 트림각이 변화하여 저항값이 크게 감소하였으며 S.T.=2° 와 4° 에서 25노트의 속력에서 4.3%의 유효마력감소가 있었다. 설계선형의 내항성능은 우수하였으며 해상상태 4에서 25노트의 모든 속력에서 갑판 위에서 계측한 가속도는 ISO 2631/3의 멀미발생 30분 기준을 만족하고 있으며 또한 무게중심에서는 2시간 기준까지 만족하였다.

후 기

본 연구는 부산대학교 생산기술연구소로부터 연구비의 일부를 지원 받아 수행하였으며 지원에 감사드린다.

참 고 문 헌

- [1] Proc. of 1st Conference on Fast Sea Transportation, Vol. I & II, Edited by Holden K.O. et.al., Norway, 1991, p.1351
- [2] Proc. of 2nd Conference on Fast Sea Transportation, Vol. I & II, Edited by Sugai K. et.al., Japan, 1993, p.1697
- [3] Proc. of 3rd Conference on Fast Sea Transportation, Vol. I & II, Edited by Kruppa C.F.L., Germany, 1995, p.1401
- [4] Proc. of 4th Conference on Fast Sea Transportation, Vol. I & II, Australia, 1997, p.1351
- [5] Min K.S., Kim O.H., "Design and Construction of Long-Range High SpeedFoil Catamaran Passanger Ship", J. of the Society of Naval Archtects of Korea, Vol.30, No.3, 1993 pp.1~15 (in Korean)
- [6] Min K.S., Lee Y.W., "Design of a Small High -Speed SWATH Passanger Ship", J. of the Society of Naval Archtects of Korea, Vol.35, No.4, 1998 pp.87~97(in Korean)
- [7] Chun H.H., Kim M.S., "Development of a High Speed , Coastal Passanger SWATH Ship with Good Performance and Seakeeping Quality", J. of the Society of Naval Archtects of Korea, Vol.35, No.4, 1998 pp.87~97(in Korean)
- [8] Song C.T., Park C.W., Heo B.H., "A Study for Hull Form of the SWATH Ship" , J. of the Society of Naval Archtects of Korea, Vol.35, No.4, 1998 pp.87~97 (in Korean)
- [9] 1978 ITTC Performance Prediction Method for Single Screw Ships, Report of the Performance Committee, Proceedings of 15th ITTC, The Hague, 1978
- [10] Brown P.W., "An Experimental and Theoretical Study of Planing Surface with Trim Flaps" Davidson Lab. Report 1463, SIT, U.S.A., 1971
- [11] Savitsky D., Brown P.W., "Procedures for Hydrodynamic Evaluation of Planing Hulls in Smooth and Rough Water", Marine Technology, Vol.13, No.4, 1976 pp.381~400
- [12] ISO 2631/3 - 1985, " Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration Part 3 : Evaluation of Expousure to Whole Body z - Axis Vertical Vibration in the Frequency Range 0.1 to 0.63 Hz " , 1985