

실습선 한바다호의 운항성능에 관한 연구(I)

- 선체감시장치(HMS) 계측 데이터를 이용한 내항성능 평가 -

정창현* · 이형기** · †이윤석**

*한국해양대학교 한바다호 일등항해사, **한국해양대학교 운항훈련원 교수

A Study on the Ship's Performance of T.S. HANBADA (I)

- The Evaluation of Seakeeping Performance by HMS Measuring Data -

Chang-Hyun Jung* · Hyong-Ki Lee** · †Yun-Sok Lee**

*Chief Officer, T/S HANBADA, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

**Professor, Training Center of Ship Operation, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

요 약 : 최근에 선박이 대형화, 고속화되면서 선수 충격과 영향으로 인하여 선체 또는 화물에 잦은 손상을 초래하기도 하고, 극단적인 상황에서는 선박이 절단되기도 한다. 본 논문에서는 내항성능 평가요소 중 하나인 상하가속도 값을 선교에 설치된 선체감시장치를 이용하여 해상 상태별 변화량을 계측하고, 이를 모형시험 및 이론계산 결과와 상호 비교하였다. 또한 ITTC에서 제시하는 내항성능 기준치와도 비교함으로써 실습선 한바다호의 내항성능을 확인하였다. 이러한 결과는 앞으로 경험할 수 있는 다양한 해상상태에서의 작업가능성 및 위험성 정도의 예측을 가능하게 함으로써 선박의 안전운항에 큰 도움이 될 것으로 판단되며, 또한 다양한 실선계측 자료를 통하여 조선소에서는 보다 우수한 성능의 선박 건조가 가능하리라 본다.

핵심용어 : 선체감시장치, 상하가속도, 내항성능, 실선계측, 운항성능

Abstract : As the ship is getting bigger and faster lately, ship's structure or cargoes might be often damaged and the ship might be cut in two in extreme conditions by a wave impact on its bow. In this paper, the vertical acceleration, which is one of factors for evaluating seakeeping performance, was measured under the various sea states by the hull stress monitoring system(HMS) on the bridge, and the result was compared with those of model test and theoretical studies. Then, we confirmed the seakeeping performance of T.S. HANBADA by comparing it with ITTC seakeeping criteria. This result will be a great help for the safe navigation by making it possible to estimate the possibility of work and the amount of risk under the various sea conditions with which may be confronted, and the shipbuilding yard can be possible to construct the vessel with superior performance through these data measured on the actual ship.

Key words : Hull stress monitoring system(HMS), Vertical acceleration, Seakeeping performance

1. 서 론

선박의 운항성능이란 승무원-선체-추진기관-탑재장비로 구성된 전체 시스템의 파랑 중 성능을 말하는 내항성능과 선박을 조종할 때 이에 반응하여 움직이는 선박의 능력을 말하는 조종성능, 화물적부 및 안정성과 관련된 복원성능, 그리고 승객 및 승무원의 활동 및 작업가능성과 안락함·쾌적함을 의미하는 승선감을 총칭하여 나타낸 성능을 말한다(Fig. 1). 본 논문에서는 실습선 한바다호의 운항성능 평가 중에서 조종성능, 복원성능 그리고 승선감 평가는 추후 과제로 남기고, 여기서는 우선 내항성능에 대하여 평가하고자 한다.

바다를 항해하는 선박은 때때로 거친 파도를 조우하며, 이러한 악조건에서는 선체 및 선적중인 화물에 손상을 초래하기도

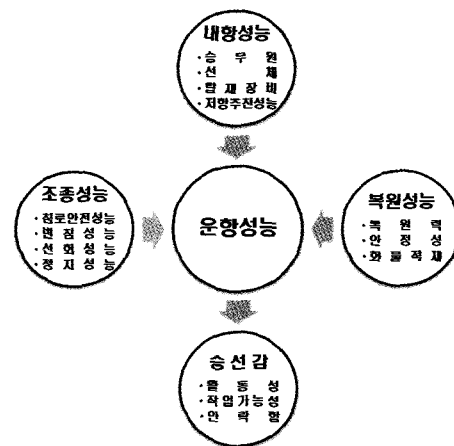


Fig. 1 Ship's Performance

* 대표저자: 정창현(중신회원), eli-j@hhu.ac.kr 051)410-4206
 ** 중신회원, hk@hhu.ac.kr 051)410-4201
 † 교신저자: 이윤석(중신회원), lys@hhu.ac.kr 051)410-4204

하고, 승객의 안락감을 해치며 선원의 작업능력을 저하시킬 뿐만 아니라, 선박에 탑재된 각종 장비의 성능도 떨어뜨린다. 따라서, 선박을 설계함에 있어 파랑 중에서도 손상이나 진폭되지 않고 우수한 성능을 발휘할 수 있도록 파도에 의해 선박이 받게 되는 힘과 그 힘으로 말미암아 발생하는 선체의 동요를 해석하는 기술이 필요하며, 또한 선체동요로 인해 저하되는 선박의 성능을 정량적으로 예측할 수 있어야 하는데, 이러한 파랑 중 선박의 성능을 해석하고 평가하는 기술을 내항성능 평가기술이라 한다(공과 김, 2001).

선박의 내항성능을 고려할 때 설계자는 승선하고 있는 선원 및 승객의 안락함과 관련된 거주성(Habitability), 선원이 지정된 임무를 완수할 수 있도록 설치된 장비와 파랑 중 저항증가에 따른 추진성능을 포함한 선박의 운항능력(Operability), 선박과 선원 및 화물의 안전과 관련된 생존능력(Survivability)을 최우선으로 고려해야 한다. Fig. 2에서는 내항성능을 만족하는 선박을 설계할 때 필요한 단계를 보여주고, 이러한 내항성능을 분석하는데 있어 필요한 주요소는 주어진 고유한 특성을 지닌 선박(Ship), 선박이 해당 임무를 완수해야 하는 특정한 해상조건(Sea Conditions), 선박이 해당 임무를 효과적으로 완수하는데 있어 초과해서는 안 되는 운항기준(Operational Criteria)이다(TAN, 2000).

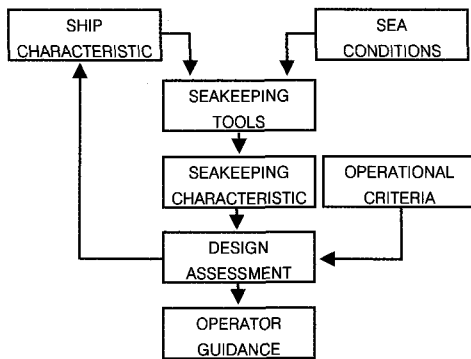


Fig. 2 Seakeeping Performance

실제해상을 항해하는 모든 선박은 선체의 불규칙한 운동의 최대허용 가능치인 내항성능 기준(Seakeeping criteria)의 설정이 필요하다. 특히 해상 상태가 거칠어지면서 생존 및 작업 가능성에 대한 기준으로서 슬래밍, 해수갑판침입, 횡동요, 종동요, 상하가속도 및 좌우가속도 등에 대한 연구가 국제수조협의회(ITTC)의 내항성 분과위원회를 중심으로 이루어지고 있다. 하지만 여기서도 주로 이론 및 실험적 연구만이 이루어지고 있으며, 실선측정 자료를 수집하는 데는 상당한 어려움을 갖고 있다(ITTC, 1981).

따라서, 본 논문에서는 실습선 한바다호의 선교에 설치된 선체감시장치를 이용하여 그 동안의 운항과정에서 계측된 내항성능 평가요소 중 하나인 상하가속도 값을 해상상태별, 선박과 파랑의 만남각별로 살펴보고, 이를 모형시험 및 이론계산 결과와 상호 비교한 후, ITTC에서 제시하는 내항성능 기준치와 비교함으로써 실습선 한바다호의 내항성능을 평가하고자 한다.

2. 한바다호의 제원 및 계측시스템

2.1 한바다호의 제원 및 주요 운항 실적

실선 시험 대상인 한바다호는 한국해양대학교의 실습선으로서, 최첨단 시스템을 갖춘 선교와 세계 최초의 Dual Engine(ME & MC), 그리고 동시통역 및 위성화상회의 설비 시스템을 갖추었다. 연구시설로는 선박 조종성능 계측 시스템(Ship's Maneuverability Measuring System), 선체응력 감시 시스템(Hull Stress Monitoring System), 엔진성능 측정 시스템(M.I.P & Ship Performance System), 배기가스 분석 시스템(Emission Analyzer System) 등이 설치되어 있다.

Table 1에서는 한바다호의 주요제원을 보여주고, Fig. 3에서는 Body Plan을 제시한다.

Table 1 General Particulars

ITEMS	DIMENSIONS
Ship's Name	HANBADA
Builder	STX Shipbuilding Co.,Ltd.
Length Overall(LOA)	117.20 m
Length Between Perpendiculars(LBP)	104.00 m
Breath(B)	17.80 m
Mean Draft(Full Loaded Condition)	5.915 m
Speed Max.	19.0 kts
Service Speed	17.5 kts
Main Engine MCR(100%)	8,130 BHP×176 RPM
Main Engine NCR(85%)	6,910 BHP×167 RPM
Complement	246 persons
Gross Tonnage	6,686 ton
Displacement(Full Loaded Condition)	6,434.6 ton
Block Coefficient(Cb)	0.5719 at 5.915m
L.C.G(Full Loaded Condition)	-1.955
V.C.G(Full Loaded Condition)	6.551
GM(Full Loaded Condition)	2.360

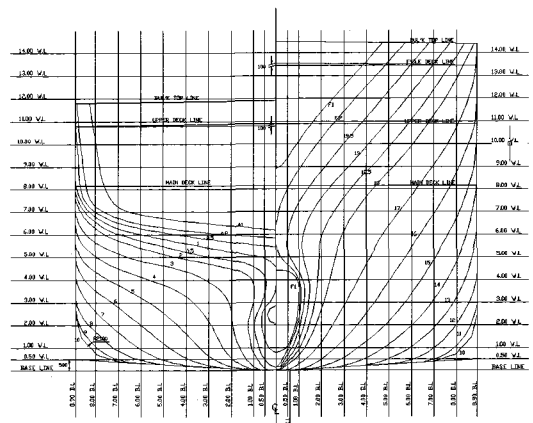


Fig. 3 Lines of T.S. HANBADA

실습선 한바다호는 2005년 12월 8일 진해 STX 조선소로부터 인수 이후, 각종 행사로 인하여 단기간 항해한 경우를 제외

한 주요 운항 실적으로는 2006년 연안항해 7회와 원양항해 2회, 2007년 1학기까지 연안항해 4회와 원양항해 1회를 실시하였다. 3차례의 원양항해 중 2006년 1학기 원양항해에 해당되는 5월 8일부터 6월 12일까지의 일정인 ‘부산-양곤-기류-요코하마-부산’ 항로의 항해가 해상상태가 가장 거칠었고 대표적인 자료로도 가장 많이 이용되었다.

2.2 Hull Stress Monitoring System(HMS)

선체감시장치(HMS)는 정박중 화물작업 뿐만 아니라 항해중에 선체의 거동을 감시하여 선체운동에 의한 가속도와 종굽힘 모멘트에 의한 선체에 미치는 응력을 실시간으로 계산하여 항해사에게 제공하는 장치로, 화물의 부적절한 선적을 피하고 황천항해중의 과도한 응력을 계측하여 선체의 변형 및 손상을 예방하는 장치이다. 선체감시장치의 주요 구성 요건으로 본선에는 Upper Deck상에 4개의 Long Based Strain Gauge를 부착하여 선체에 가해지는 응력을 계측하고, 또한 선수와 선미에 각각 1개씩의 상하가속도계가 설치되어 선수와 선미의 가속도를 실시간으로 계측할 수 있으며, 선교에 경사계 1개 및 기타 항해장비의 신호를 받아 화면에 표시하는 장치로 구성된다. Fig. 4는 Bridge에 설치된 HMS의 Display 장치이다.

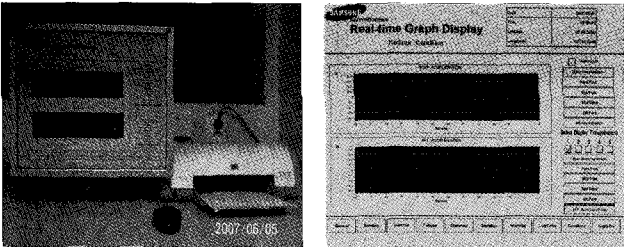


Fig. 4 Logger Display Unit of HMS

Fig. 5와 Fig. 6은 HMS의 구성도 및 배치도이며, 그 구성으로는 Computer, Signal Conditioning Box, Four Long Based Strain Gauges (LBSG), One bow accelerometer, One aft accelerometer, One Inclinometer, navigational instruments 이다.

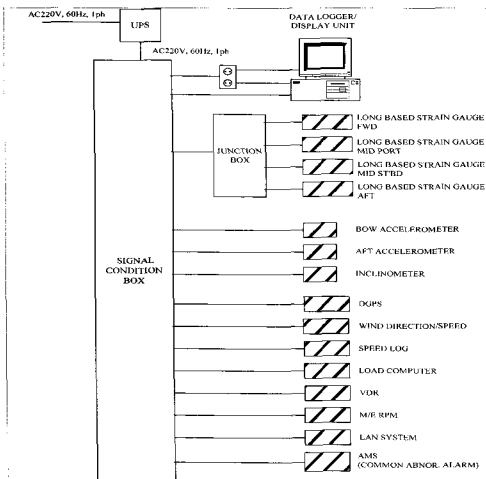


Fig. 5 Block Diagram of HMS

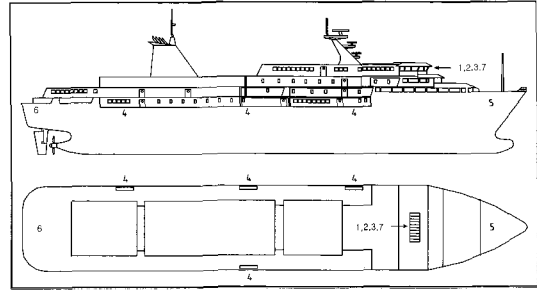


Fig. 6 Overview of the HMS

(1:Logger Display Unit, 2:Signal cond. Unit, 3:UPS, 4:Long Based Strain Gauge, 5: Bow accelerometer 6:Aft accelerometer, 7:Inclinometer)

선박의 운동 계산에 사용된 상하가속도계 센서는 선체의 무게중심(G)으로부터 선수방향으로 47.3m(S.S.19), 위로 5.8m에 위치한 선수창고 내부의 중심선에 설치되어 있고, 롤링 및 피칭을 확인할 수 있는 경사계 센서는 선체의 무게중심(G)으로부터 선수방향으로 27.0m(S.S.15), 위로 13.8m에 위치한 선교의 중심선에 설치되어 있다. 상하가속도계 및 경사계의 모습은 Fig. 7에서 보여주고, 구체적인 센서사양은 Table 2에 나타난다. 참고로 Loading Condition(1/3 Consumed)의 VCG는 6.78m이고, LCG는 -1.173m(중심에서 선미방향)이다.

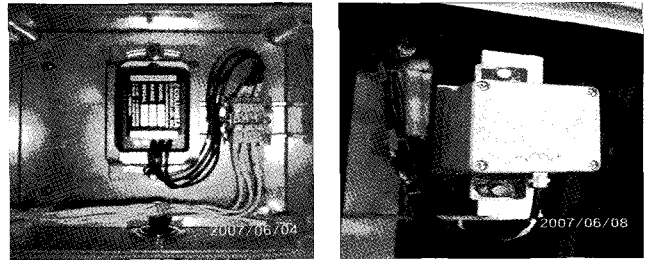


Fig. 7 Photograph of Sensors

Table 2 Specification of Sensors

Accelerometer		Inclinometer	
Type	Servo	Measuring range(Trim)	-15°~+15°
Measuring range	± 2g going down(+)	Measuring range(Heel)	-15°~+15°
Frequency response	0~50 Hz	Response speed	0.3 sec
Accuracy	± 0.2%	Accuracy	± 1%

HMS에 저장되는 Data 중 가속도계와 LBSG의 Sample 주기는 20/sec이고, 기타 신호는 1/sec 주기로 계측되어 임시 저장된다. 그리고 5분 동안 측정된 Sample data 중에서 Max./Mean/Min. 값을 계산하여 그 통계치를 5분 간격으로 메모장 형식으로 저장한다. 여기서, 가속도 값은 1g 값을 뺀 값으로 표시되며, 선수가 내려가면 양(+)으로 표시된다.

3. 실선계측

3.1 해상상태에 따른 가속도 비교

해상상태의 변화에 따른 가속도의 변화량을 조사하기 위하여 항해일지(Log Book)의 기록을 바탕으로 먼저 연안항해와 대양항해를 구분하여 조사하였고, 그 중에서 동일한 해상상태(Sea State)에 해당되는 날짜를 찾아 분류하였으며, 마지막으로 동일한 해상상태일지라도 선박과 파와의 만남각을 고려하여 분석하였다. 또한 HMS의 풍향 및 풍속자료도 함께 이용하여 해상상태를 판단하는데 참고하였다. 여기에서는 동일한 해상조건에서도 가속도 값이 가장 크게 측정된 선수파에 가까운 경우를 선택했고, 또한 연안항해보다는 가속도 값이 더 크게 측정된 대양항해를 선택하여 각 해상상태(Sea State)별로 HMS에서 측정된 가속도 값을 제시하였다.

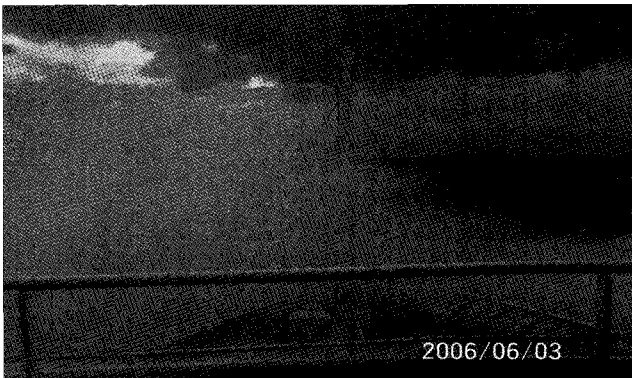
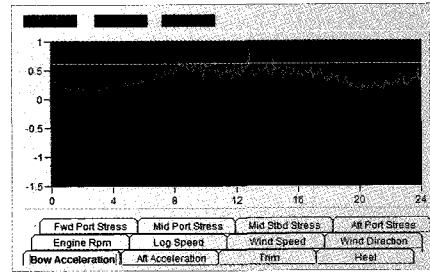


Fig. 8 Photo of T.S. HANBADA

Fig. 8은 Sea State 6에 해당되는 2006년 6월 3일의 선교에서 찍은 사진이고, Table 3은 ITTC에서 규정하고 있는 내항 성능 기준치이다. Fig.9는 2006년 6월 4일의 상하가속도를 나타내는 HMS 화면의 일례이고, Fig.10은 각 해상상태별로 측정된 상하가속도의 최대값과 1/3유의값의 분석 결과이다.

Table 3 Seakeeping Criteria of ITTC

Items	Definitions	Seakeeping Criteria	
		Operational	Survival
Roll	Significant Single Amplitude in Degree	8.0	30.0
Pitch	Significant Single Amplitude in Degree	4.8	8.0
Deckwetness	No/hr	30	50
Slamming	No/hr	20	50
V. Acceleration	Significant Single Amplitude in G	0.4	0.8
L. Acceleration	Significant Single Amplitude in G	0.2	0.4



Sea State 7
-Maximum:1.3g
-Significant:1.2g
-Head Sea

Fig. 9 Vertical Acceleration (2006. 6. 4)

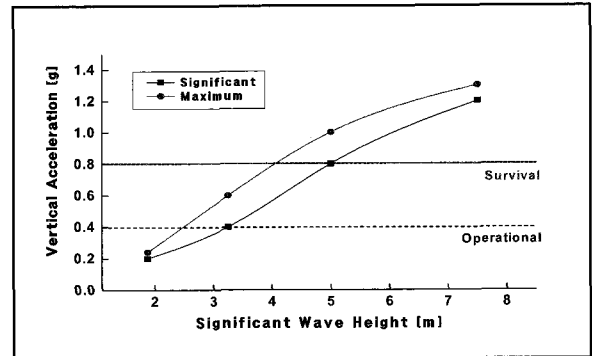
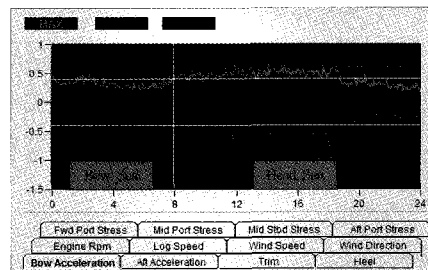


Fig. 10 Variation of V. Acceleration with Wave Height

가속도는 파향 및 선속에 따라 약간의 차이는 있지만, 해상상태 4이하에서는 0.2g 이하였고, 해상상태가 점점 나빠져 7정도에 가까워 갈수록 0.8g를 넘었고, 한바다호 인수 이후로 가장 해상상태가 거칠었던 원양항해 기간중인 6월 3일과 4일에는 1.3g에 이르기기도 하였다. 이는 ITTC에서 규정하고 있는 작업가능기준치 0.4g 및 생존가능 기준치 0.8g보다 다소 높은 결과이다(해상상태별 파고는 Fig. 12 참조).

3.2 선박과 파도의 만남각에 따른 가속도 비교

Fig. 11은 2006년 06월 03일의 가속도 변화를 보여주는 HMS 화면으로, 00~08시까지는 횡파(Beam sea) 또는 사향파(Bow sea)인 상태로 항해하다가, 08~24시까지는 선수파(Head sea)를 받으며 항해하였고, 선수파를 받으며 항해할 때 가속도가 0.5g 이상의 큰 차이를 보이며 높게 표시되고 있음을 알 수 있다. Fig. 12에서는 파와의 만남각에 따른 상하가속도의 변화를 보여주고 있으며, 선수파를 받으며 항해할 때 가속도가 가장 높게 측정되고 있음을 알 수 있다.



Sea State 6
-Maximum:1.2g
-Significant:0.8g
-Head Sea

Fig. 11 Vertical Acceleration (2006. 6. 3)

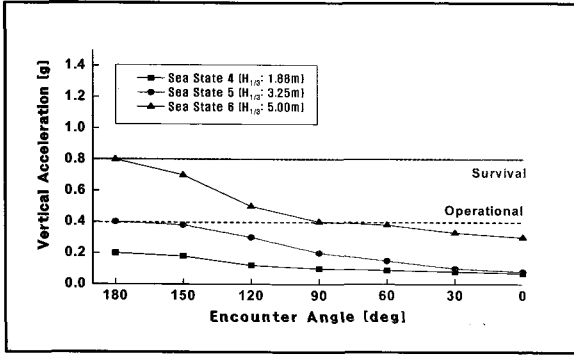


Fig. 12 Variation of V. Acceleration with Encounter Angle

3.3 연안항해와 대양항해의 가속도 비교

파도와 선박의 만남각 뿐만 아니라 파도의 주기 및 파장에 따라 선체운동은 상당히 달라진다. 계측된 결과로는 비교적 파장이 짧은 연안을 항해할 때 보다는 파장이 긴 대양을 항해할 때 선체운동이 크게 일어났다.

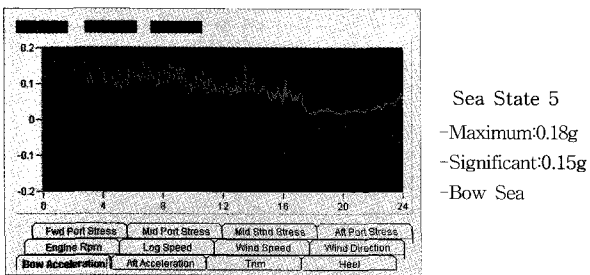


Fig. 13 V. Acceleration (Coastal, 07. 4. 4)

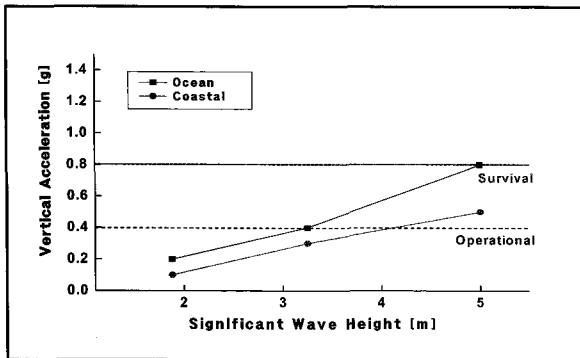


Fig. 14 Variation of V. Acceleration with Wave Height

Fig. 13은 2007년 04월 04일 제주항에서 부산항으로 연안항해를 할 때의 가속도 변화를 나타내고 있고, 해상상태가 5일 때 ITTC 기준에 따르면 상하가속도는 최대 0.4g까지로 예상되나, 0.2g에 미치지 못하고 있음을 알 수 있다. Fig. 14에서는 연안에서와 대양에서의 항해 중 상하가속도 값의 차이를 보여주고 있으며, 대양에서 0.1정도 높게 측정되었다.

4. 이론계산 및 모형시험과의 비교 분석

선박 설계단계에서 내항성능을 검토하기 위해 실시된 다양

한 실험조건에 따른 모형시험 중에서, 본 연구에 비교 대상으로 한 선속은 15 Kts이며, 좌향은 횡운동(Roll) 및 좌우가속도(Lateral acceleration)에서는 횡파(Beam sea)이고, 종운동(Pitch) 및 상하가속도(Vertical acceleration)에서는 선수파(Head sea)를 기준으로 하였다. 먼저 본선에서 실측한 2006년 6월 3일의 종운동 실측값을 Fig.15에서 일례로 보여주고 있으며, NSM에 의한 이론계산 및 모형시험 결과와 본선에서 실측한 자료를 비교 분석하면 Fig. 16~Fig. 18에서와 같다.

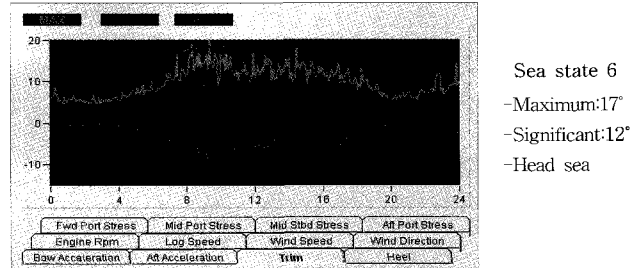


Fig. 15 Display of Pitch (2006. 6. 3)

이론계산 및 모형시험 결과와 실측한 자료를 비교해 보면, Fig. 16에서 보듯이 상하가속도(Vertical Acceleration)는 이론값과 실측값은 비교적 잘 일치하고 있으나, 모형시험 결과와는 상당한 차이가 나고, 또한 실측값이 ITTC에서 제시한 기준값과 비교해 볼 때 약간 높게 측정된 경향을 보이고 있다. 이는 실측위치 및 이론계산의 측정위치가 선수창고로 모형시험의 측정위치인 선교보다 약 20여 미터 전방에 위치해 있으며, ITTC에서 제시한 내항성능 기준값의 가속도 측정 위치가 명확히 제시되어 있지 않고, 또한 그 평가 기준이 각 선박마다 고유의 임무에 따라 설정되어야 함에도 불구하고 일률적으로 정해짐으로써 나타난 것으로 사료된다. 실측값을 보면, 해상상태 5에서 작업가능기준치인 0.4g에 도달하고 해상상태 6에서 생존조건인 0.8g에 도달한다.

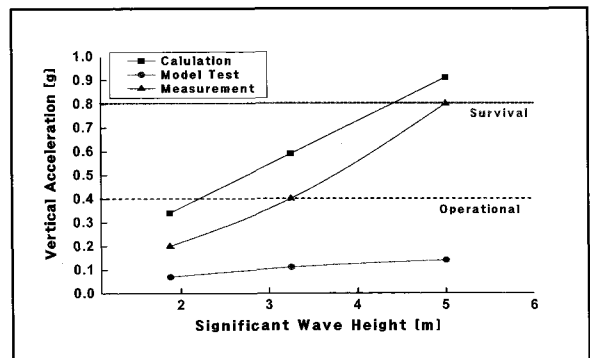


Fig. 16 Variation of V. Acceleration with Wave Height

Fig. 17에서 보듯이 종운동(Pitch)에서도 상하가속도와 비슷한 결과를 보이며, 모형시험의 기준점이 Center of Gravity인데 비해, 실측장비의 센서는 선교에 위치해 있어 값에 차이가 생기는 요인이 될 수 있다. 실측값을 보면, 해상상태 5에서 작

업가능기준치인 4.8°에 도달하고 해상상태 6에서 생존조건인 8°를 초과한다.

횡운동(Roll)에서는 Fig. 18에서 보듯이 이론값과 모형시험 값 및 실측값이 비교적 잘 일치하고 있으며, 횡파중 횡운동은 유의파고가 증가함에 따라 모두 증가하고, 해상상태 5이상에서 작업가능 기준치인 8°를 초과하고 있다.

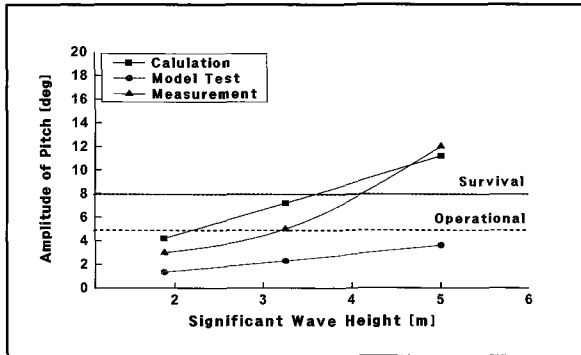


Fig. 17 Variation of Pitch with Wave Height

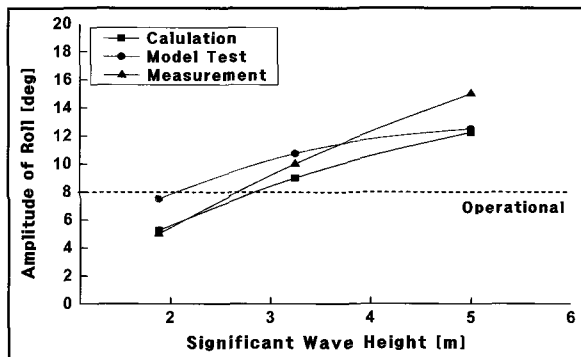


Fig. 18 Variation of Roll with Wave Height

5. 결 론

선교에 설치된 선체감시장치(HMS)를 이용하여 실습선 한바다호 인수 후 실시한 수차례의 연안항해와 원양항해를 통해 수집한 가속도, 슬래밍, 횡요, 종요, 선속, 풍속, 파고 등 각종 자료를 분석하여 실습선 한바다호의 내항성능을 평가하였다.

첫째로 비교적 파장이 큰 대양에서의 상하가속도는 해상상태 4에서 0.2g 이하로 계측되었고, 해상상태가 점점 나빠져 7 정도에 가까워 갈수록 0.8g를 넘어 1.3g에 이르기까지도 하였다. 이는 ITTC에서 규정하고 있는 작업가능기준치 0.4g 및 생존가능 기준치 0.8보다 다소 높은 결과이다. 둘째로 동일한 해상 조건에서는 선박이 파도를 선수방향에서 받으며 항해할 때 상하가속도가 가장 높게 측정되었으며 선미에서 가장 낮게 측정되었다. 셋째로 연안항해 보다는 대양항해에서의 상하가속도가 0.1g 정도 높게 측정되었는데 이는 대양에서 파장이 컸기 때문인 것으로 판단된다.

이와 같이 그동안의 실습선 한바다호가 운항하면서 측정했던 실선자료를 분석하여 ITTC에서 규정하고 있는 내항성능

기준과 상호 비교함으로써, 실습선 한바다호의 내항성능을 평가해 보았고, 이를 바탕으로 앞으로 경험할 수 있는 다양한 해상상태에서 항해위험도가 어느 정도인지를 예측함으로써 선박을 보다 안전하게 운항할 수 있게 되었으며, 이를 토대로 실제해상에서 운항중인 타 선박에서도 이와 같은 내항성능 평가를 적용하여 항해 안전성을 향상시키고, 또한 조선소에서는 초기 설계과정에서부터 불필요한 부분을 제거함으로써 보다 우수한 성능의 선박을 건조하는데 이용 가능하다.

또한, 선박에서의 가속도는 위치에 따라 그 크기가 다르고 선형 및 선박의 크기에 따라 다르므로 일률적으로 그 기준을 정하기 어렵겠지만, 다양한 실선시험을 통하여 확인 가능할 것이다. 따라서 ITTC 기준도 실선계측 부분에서 미진했던 연구 부분을 보완할 필요성이 있고, 이러한 실선계측 자료를 바탕으로 앞으로 보다 다양하고 충분한 실선시험을 실시함으로써 기준에 제시되어 왔던 기준치 및 측정위치에 대한 다각적인 검토가 필요하다고 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] 공길영, 김철승(2001), “황천항해중인 선수선교선의 내항성능 평가기준 설정 방안에 관한 연구”, 해양환경안전학회지, 제7권, 제3호, pp.17-27
- [2] 김철승, 이윤석, 공길영, 정창현, 김대해, 조익순(2005), “선체운동 평가를 위한 다목적 계측시스템 개발에 관한 연구”, 한국항해항만학회지, 제29권, 제10호, pp.847-852
- [3] 한국해양연구원 해양시스템안전연구소(2003), “한국해양대학교 DWT 5,900톤급 실습선 선형 연구”
- [4] Global Maritime Engineering, “Hull Stress Monitoring System(Operational Manual)”
- [5] ITTC(1981), “Report of Seakeeping Committee”, Proceedings of ITTC
- [6] Tan, S. G.(2000), “Advanced Experimental Facilities and Techniques for Seakeeping Research”, Fourth Osaka Colloquium on Seakeeping Performance of Ships, pp. 1-10.

원고접수일 : 2007년 10월 5일

원고채택일 : 2007년 11월 26일