工學碩士 學位論文

船舶搭載用 綜合耐航性能 評價시스템 開發을 위한 基礎的 研究

A basic study for the development of Integrated Seakeeping Performance Evaluation System on board the ship

指導教授 金 順 甲

2000年 2月

韓國海洋大學校 大學院

海事輸送科學科

趙 翼 順

이 論文을 趙翼順의 工學碩士 學位論文으로 認准함.

主審 金 是 和 (인)

副審 田 承 桓 (인)

副審 金 順 甲 (인)

2000年 2月

韓國海洋大學校 大學院

海事輸送科學科

趙 翼 順

목 차

Abstract iii

Nomenclature v

제 1 장 서 론 1

제 2 장 내항성능 평가요소 3

2.1 파랑중의 선체운동 3

2.2 해양파 스펙트럼 5

2.3 내항성능 평가요소 6

2.4 내항성능 평가요소의 분산치 7

2.5 내항성능 평가요소의 한계표준편차 10

제 3 장 종합 내항성능평가 이론 12

3.1 내항성능 평가치와 위험도 12

3.1.1 내항성능 평가치 12

3.1.2 내항성능 요소의 위험도 12

3.1.3 최대위험도 13

3.1.4 상대위험도 13

3.2 종합내항성능 평가 이론 14

3.2.1 내항성능 평가 요소의 변환평가치 15

3.2.2 종합내항성능 지표의 정의 16

3.2.3 임의의 대표적인 요소에 의한 항해 안전성평가 17

제 4 **장 실선 계측을 통한 선박 종합내항성능평가** 19
4.1 **선체운동 가속도 계측·해석 시스템** 19
4.1.1 **신호처리절차** 21
4.1.2 **가속도 센서**(Accelerometer) 21
4.1.3 **환경설정** 23
4.1.4 **데이터의 수집 및 통계처리** 25
4.1.5 **계측 방법** 25
4.2 **실선계측을 통한 선박 종합내항성능 평가** 28
4.2.1 **계측된 두 개의 요소를 이용한 항해 안전성 평가** 28
4.2.2 **수치계산의 조건** 32
4.2.3 **수치계산의 평가방법** 33
4.2.4 **수치계산 결과** 33
4.3 **평가도 화상처리** 36

제 5 **장 결 론** 40

참고문헌 42

List of Tables 44

List of Figures 45

A basic study for the development of Integrated Seakeeping Performance Evaluation System on board the ship

Ik-Soon Cho

Department of Maritime Transportation Science,
Graduate School of Korea Maritime University

Abstract

From a ship's safe operation point of view, it is very important to estimate the navigational safety in a seaway.

The seakeeping performance can be defined as the ability of a ship to go to sea, and to accomplish its missions successfully and safely even in adverse environmental conditions.

There are several factors presently adopted for evaluating seakeeping performance. But a hardware of the system considering all these factors has not been developed since some of them can not be measured by sensors.

In this paper, a synthetic method of evaluating navigational safety is developed by measuring the vertical and lateral acceleration.

An experiment by using real measuring carried out on board the T/S 'HANNARA'. The equipment was measured every 4 hours for more than 30 minutes the acceleration by accelerometer, analyzed its acceleration values and calculated navigational dangerousness.

As the results of this on board experiment, the system is carried conviction to be useful as evaluating seakeeping performance.

Nomenclature

$\widetilde{\hat{E}}_i$	:	내항성능 평가요소의 변환 평가치
$\widetilde{\hat{E}}_T$	:	선박 시스템의 내항성능 변환 평가치
E_{TC}	:	선박 시스템의 내항성능 한계 평가치
E_{Xi}	:	내항성능 평가요소의 평가치
E_{Xic}	:	내항성능 평가요소의 한계 평가치
Fn	:	Froude number $(= \frac{V}{\sqrt{gL}})$
g	:	중력가속도
$H_{1/3}$	:	해양파의 1/3 유의(有義 : Significant) 파고
$H_{X_i}(\omega, V, \chi-\theta)$	:	내항성능 평가 요소의 응답함수
Q_{Xic}	:	내항성능 평가요소의 한계발생확률
$Q(X_i)$	:	내항성능 평가요소의 발생확률
$\widetilde{\hat{P}}_i$	:	내항성능 평가요소의 신뢰도 함수
P_T	:	내항성능 신뢰도 함수
$S_{X_i}(\omega, \chi)$	:	내항성능 평가요소의 스펙트럼
$S_\zeta(\omega)$	:	장파정 해양파 스펙트럼
$S_\zeta(\omega, \theta)$	:	단파정 해양파 스펙트럼
T_o	:	평균파 주기

X_i : **내항성능 평가요소**

$X_i(t)$: **내항성능 평가 요소의 확률과정**

X_{ic} : **내항성능 평가 요소의 한계치**

σ_{x_i} : **내항성능 평가요소의 표준편차**

$\sigma^2_{x_i}$: **내항성능 평가요소의 분산치**

$\widetilde{\mu_T}$: **내항성능지표**

μ_m : **내항성능 평가요소의 최대 위험도**

μ_{X_i} : **내항성능 평가요소의 위험도**

ω : **파의 원주파수**

ω_e : **파와 선체의 만남 주파수**

χ : **선박과 파와의 만남각**

S : **해상상태**

제 1 장　　서 론

과학기술의 발전에 따라 최신에 건조되는 선박은 자동화, 대형화, 지능화 및 고속화 되어가고 있다. 이러한 시점에서 조선 · 항해 기술의 과제는 불규칙한 해상에서 바람, 파랑 등의 외력에 대응하여, 고도의 안전성과 신뢰성을 유지하면서 항해의 목적을 달성하는 것이다. 이러한 목적을 달성하기 위해서 해결해야 할 중요한 과제는 선박이 어떤 해상을 항해함에 있어 종합적인 항해 안전도를 정량적으로 판단하는 것이다.

파랑중 항해하는 선박의 항해 안전성을 평가하는 방법으로 내항성능 평가를 이용한다. 내항성능(Seakeeping performance)이란 「선박이 바람이나 파랑 등의 외력을 받으며 항행할 경우 유효한 평균선속의 저하를 최소로 하여 안전하고 쾌적하게 항해할 수 있는 성질」 또는 「어떤 해상상태에서 예정속도를 유지하고 손상 또는 성능 저하 없이 항해가 가능한 성질」이라 정의한다.

이러한 내항성능의 평가요소는 한계발생확률이 각각 다르게 제안되어져 있기 때문에 선박전체의 내항성능을 평가하기 위해서는 모든 요소의 계측을 필요로 한다. 그러나, 모든 요소에 센서를 설치하여 평가한다는 것은, 계측을 위한 센서의 설치가 불가능한 것도 있고, 경제적인 면에서도 비용의 과다로 계측상 문제가 있다.

이러한 계측상의 어려움을 해결할 수 있는 평가방법으로, 임의의 대표 요소 한가지에 의한 항해 안전성 평가 즉, 선박운항자들이 감각적인 면에서 정량화된 평가요소로 채택하기 쉬운 상하가속도만을 계측하여 종합적인 내항성능을 평가할 수 있는 평가방법이 개발되었다.

이러한 추세에 따라 본 연구에서는 그러한 평가방법을 실용화하여 실해역을 항해중인 선박에 적용하여 보았다. 즉, 선박에 하드웨어 장치인 선체운동 가속도 계측·해석 시스템을 탑재하여 실해역에서의 상하 및 좌우가속도를 계측하고, 계측된 데이터를 해석 및 계산을 통해 선박내항성능을 평가하여, 그 당시의 항해위험도를 컴퓨터 화면에 화상 처리하여 시각적으로 쉽게 항해 안전성을 평가할 수 있는 선박 탑재용 종합내항성능 평가시스템을 개발하게 되었다.

또한 이 평가 시스템을 이용하여 평가된 종합내항성능 평가결과를 Logbook상의 운항실적에 대한 수치계산 결과와 상호 비교 분석하였으며, 그 결과 그러한 평가 시스템이 실선에 적용 가능하다는 것을 보여주었다.

물론 본 연구에서는 대상선의 경우에만 실험을 통해 실선 적용이 가능함을 보여주었으나, 향후 더 많은 연구를 통해 다른 모든 선형에도 적용이 가능하다는 것을 보여주어야 할 것으로 사료된다.

즉, 모든 선형에 이러한 선박 탑재용 종합내항성능 평가시스템의 적용이 가능해져 실선에 탑재된다면, 실해역에서의 기상정보를 바탕으로 항해 위험도를 컴퓨터 화면이나 레이다 스코프상에서 시각적으로 쉽게 판단할 수 있게 된다. 그 결과 위험하다고 판단되는 경우, 운항자는 그 위험상태를 벗어나기 위해 변침이나 선속 조정 등의 조치를 하게 되는 것이다. 더 나아가 위험항로를 검색하여 최적의 항로를 선정할 수 있게 하는 항해정보 평가시스템의 개발을 위한 기초적 연구인 것이다.

본 연구에서 실선계측 및 수치계산 대상 선박은 여객선형인 실습선 'HANNARA'호를 적용하였으며, 계측 및 운항실적은 1999년도 제1학기('99년 4월 20일 5월 11일) 및 제2학기 원양항해('99년 10월 2일 10월 26일) 기간을 대상으로 하였다.

제 2 장 내항성능 평가요소

2.1 파랑중의 선체운동

불규칙 파랑중에서 항행하는 선박의 선체운동 응답치를 해석하기 위해서는 먼저 규칙파에 대한 선체운동의 응답함수가 필요하다. 이러한 규칙파중에서 선박이 파로부터 받는 힘을 명확히 파악하고, 선체의 여러가지 운동과 힘을 측정하기 위해서 주로 strip 이론이 널리 사용되고 있다.

Strip 이론은 선체를 2차원 단면(strip)을 갖는다고 가정하고, 선체를 여러 개의 strip으로 나누어 각각의 strip에 작용하는 2차원 유체력들을 선박의 길이 방향으로 적분함으로써 3차원인 선체에 작용하는 유체력들을 산정하는 방법이다(1). 본 연구에서는 등속이동공간 좌표계를 기초로 하여 체계화된 NSM(New Strip Method)을 이용하여 선체응답함수를 계산하였다.

그리고, 파랑중 선체운동계산을 위한 좌표계는 Fig.1과 같다.

즉, $O'-XYZ$: 정지공간 좌표계

$O_0-x_0y_0z_0$: 등속이동 공간 좌표계

$O-xyz$: 원점을 정지 자유표면에 놓은 선체 고정 좌표계

$G-x_by_bz_b$: 원점을 중심에 놓은 선체 고정 좌표계

선박은 파의 진행방향에 대해 χ 각도로 이루어지는 직선상을 속도 V로서 항행을 하고, 평균위치 O_0의 주위에서 무게중심 G가 각각의 축방향 및 축 주위로 미소 진폭의 동요를 한다고 가정한다. 그리고, 위상각은 파정이 선체 중앙의 중심선에 있을 때를 기준으로 하며 위상전진을 (+)로 정한다.

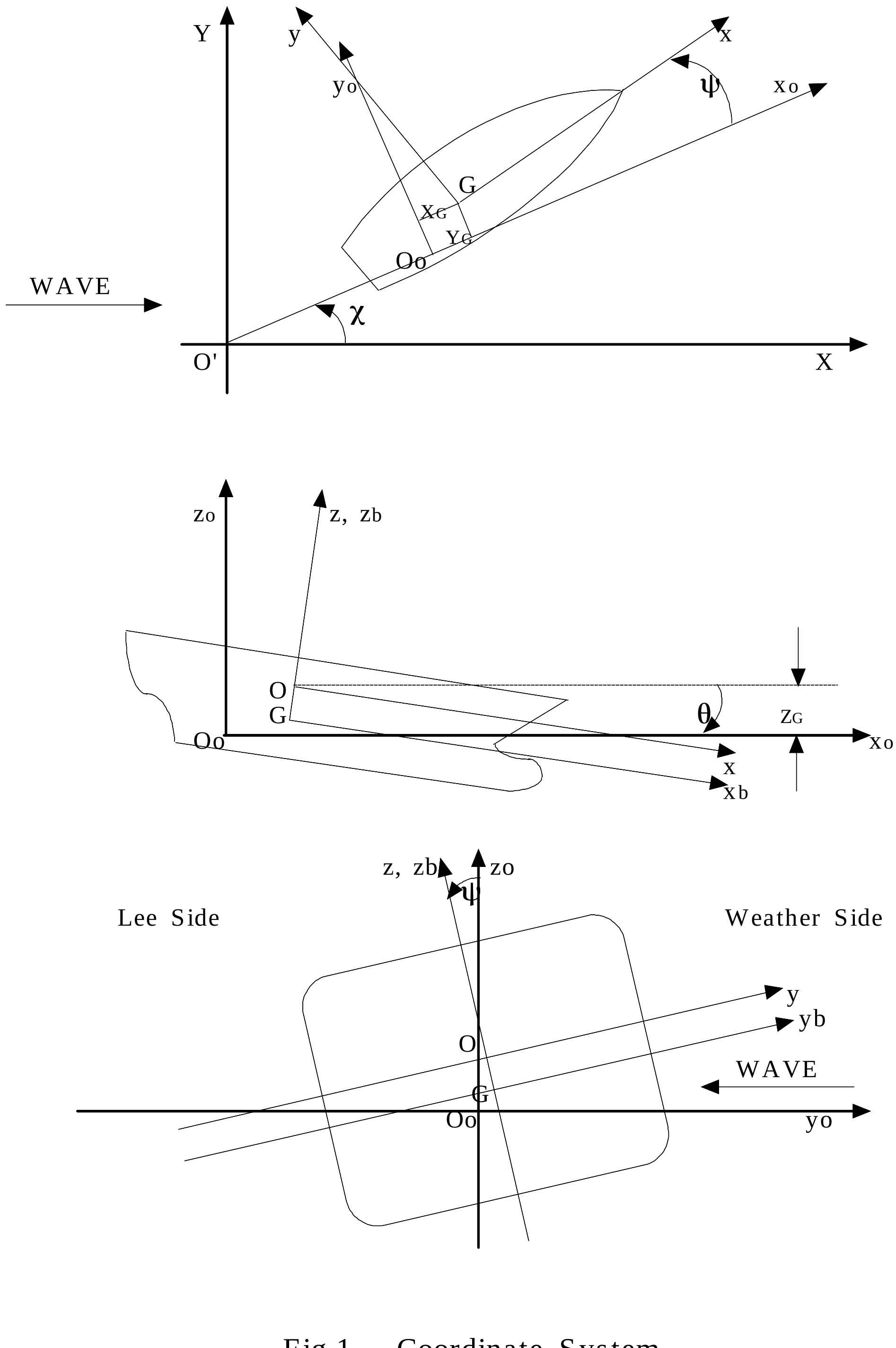


Fig.1 Coordinate System

2.2 해양파 스펙트럼

불규칙적인 해상상태는 수많은 규칙적인 소성파들을 중첩시켜 표현할 수 있고, 개개의 소성파들은 각각의 진폭, 진행방향과 주파수 및 위상 값들을 가진다. 이러한 소성파들의 합성으로 이루어진 불규칙파 확률과정의 순간 시간에 대한 파고의 변동은 Gauss분포를 하며, 그 진폭변동의 극치는 Rayleigh 분포에 따른다. 이와 같은 불규칙한 해양파는 스펙트럼 분석방법에 의해 이론적 특성해석이 가능하다. 이러한 해양파 스펙트럼은 여러 학자에 의해 연구되어 왔으며, 본 연구에서는 국제선체구조회의(ISSC)에서 채용한 장파정 해양파 스펙트럼인 P-M(Modified Pierson-Moskowitz)형 스펙트럼을 채택하였으며, 스펙트럼 식은 다음과 같이 표현된다.

$$S_{\zeta}(\omega) = \frac{1}{2\pi} 0.11 \, (H_{1/3})^2 T_0 \left(\frac{T_0}{2\pi}\omega\right)^{-5} \exp\left\{-0.44\left(\frac{T_0\omega}{2\pi}\right)^{-4}\right\} \qquad (2\text{-}1)$$

여기서, T_0 : 평균파주기

$H_{1/3}$: 유의파고

ω : 파의 원주파수(circular frequency)

또한, 실제해상에 가깝게 표현하기 위해 (2-1)식에 성분파의 방향 스펙트럼을 고려한 단파정(short crested wave) 불규칙파로서 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.(2)

$$S_{\zeta}(\omega, \theta) = \frac{2}{\pi} S_{\zeta}(\omega) \cos^2\theta \qquad \left(-\frac{\pi}{2} \le \theta \le \frac{\pi}{2}\right)$$

$$= 0 \qquad (\text{ otherwise }) \qquad (2\text{-}2)$$

여기서, θ : 파의 평균 진행 방향과 성분파가 이루는 각도

선박이 파도와의 만남각(encounter angle) χ, 속도 V로서 항행중일 때 선

체와 파와의 만남주파수(ω_e)와 파도의 원주파수(ω) 사이에는 $\omega_e = \omega(1 - \frac{\omega V}{g}\cos\chi)$의 관계가 성립하므로, ω로서 표현된 파의 스펙트럼 $S_\zeta(\omega, \theta)$은 만남 주파수 ω_e로서 표현된 $S_\zeta(\omega_e, \theta)$로 변형하여 계산하며, 그 식은 다음과 같이 유도된다.

$$\frac{d\omega_e}{d\omega} = 1 - \frac{2\omega V}{g}\cos\chi$$

$$d\omega_e = (1 - \frac{2\omega V}{g}\cos\chi)d\omega \qquad (2\text{-}3)$$

파도의 원주파수 ω와 이에 대응하는 ω_e를 갖는 스펙트럼 아래의 면적은 크기가 서로 같아야 하므로

$$S_\zeta(\omega, \theta)d\omega = S_\zeta(\omega_e, \theta)d\omega_e$$

$$S_\zeta(\omega_e, \theta) = S_\zeta(\omega, \theta)\frac{d\omega}{d\omega_e} \qquad (2\text{-}4)$$

이다.

따라서,

$$S_\zeta(\omega_e, \theta) = \frac{S_\zeta(\omega, \theta)}{1 - (2\omega V/g)\cos\chi} \qquad (2\text{-}5)$$

가 된다.

2.3 내항성능 평가요소

불규칙한 해상을 항행하는 선박의 인명, 선체, 화물의 안전을 고려하여 파랑 등의 외력에 대한 선박의 내항성능을 평가하기 위해, 선체의 운동으로부터 발생하는 다음과 같은 현상을 내항성능 평가요소로 하고 있다.(4-5)

(1) Deck wetness

(2) Propeller racing

(3) Slamming

(4) 횡동요

(5) F.P의 상하 가속도

(6) S.S 8½의 좌우 가속도

파랑중을 항해하는 선박에서 그 내항성능 평가요소는 주어진 한계치를 초과할 때에 그 현상이 발생하고, 그 발생 확률이 주어진 한계발생확률을 초과할 때 선박은 파랑중에서 기능을 잃거나 아니면 위험하게 된다. 이와 같은 각 내항성능 평가요소의 시스템적 결합은 Fig.2에 나타난 것과 같이 직렬 결합(serial combination) 구조로서, 한가지 요소만이라도 발생확률이 한계발생확률을 초과할 경우 선박은 전체 내항성능 기능을 잃어 위험한 상태에 도달하게 된다.

그러나, 기존의 각 내항성능 평가요소에는 한계치와 한계발생확률이 각각 다르게 제안되어 있다. 이것은 각 내항성능 평가요소에 관한 연구가 선박을 하나의 큰 시스템으로 보고, 다시 이를 선체, 화물, 각종 선박용 기기 등의 서브시스템으로 분류하여, 각각에 대한 내항성 기준을 얻어낸 결과이기 때문이다. 또한 내항성능 평가에 각 요소의 중요도를 달리 부여한 의미도 있다.

이와 같이 여러 학자들에 의해 제안된 기존 내항성능 평가요소에 대한 한계치와 그 한계발생확률은 Table.1과 같다.(4-5)

2.4 내항성능 평가요소의 분산치

선박이 단파정 불규칙파에 대하여 일정한 침로(χ)와 속도(V)를 유지하면

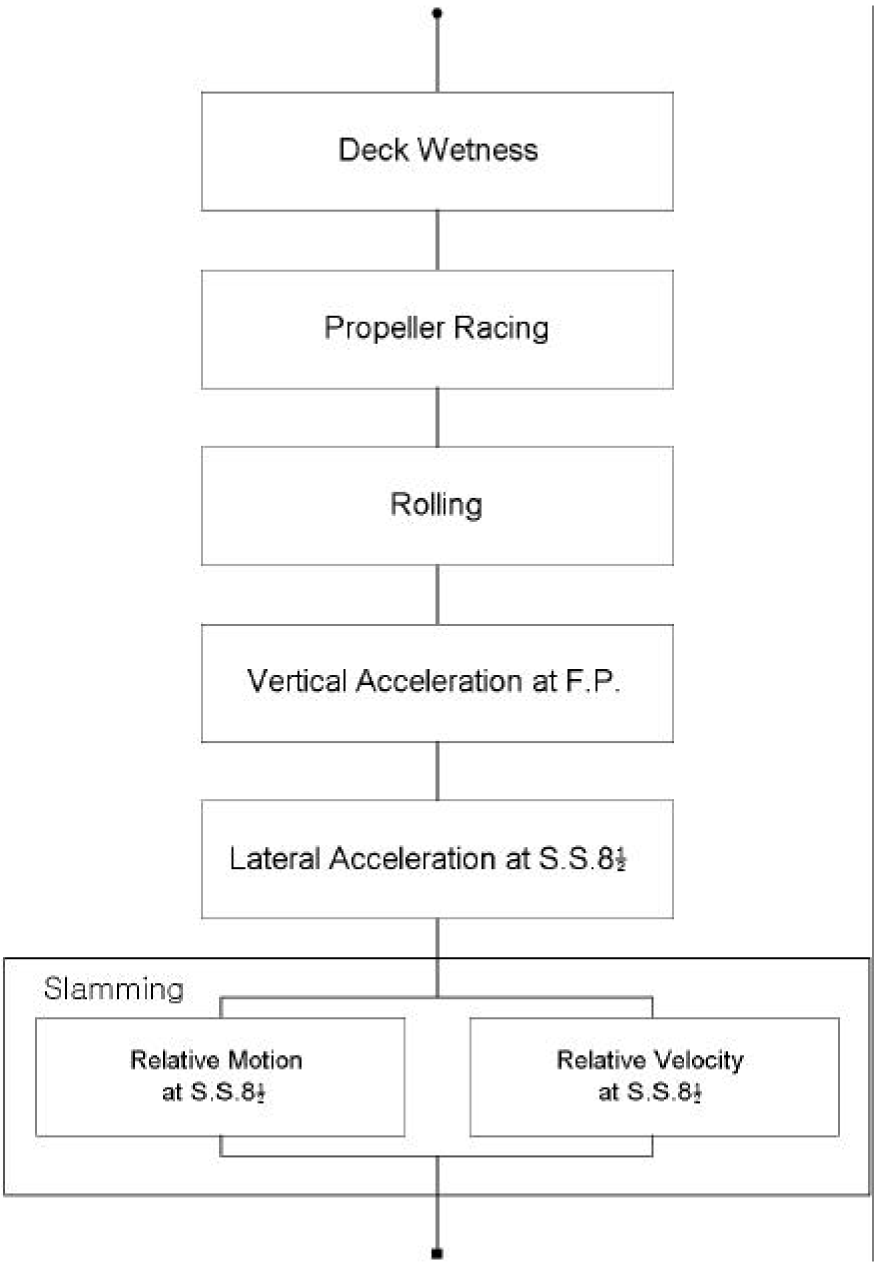


Fig.2 Serial Combination of Factors for Evaluating Seakeeping Performance

내항성능평가요소	한계치	한계발생 확 률
Deck wetness	모형시험결과에 의해 해석된, 정수중 항주시의 수위상승을 고려한 F.P.의 유효건현	2×10^{-2}
Propeller racing	정수중 항주시의 수위상승을 고려한 Propeller 상단 노출	10^{-1}
Slamming	S.S.8½에서 선저노출과 동시에, 파에 돌입할 때 선저의 파면에 대한 상대속도가 한계속도(Threshold velocity)를 초과하는 것 단, Threshold velocity= $0.09\sqrt{gL}$	10^{-2}
횡동요	선체중앙부 weather side의 bulwark top에 해수가 유입하는 것을 한계상태로 하여 정수중 흘수면에서 bulwark top까지의 높이	10^{-3}
좌우가속도	S.S.8½에서의 좌우가속도가 0.6g를 초과할 경우	10^{-3}
상하가속도	F.P에서의 상하가속도가 0.6g를 초과할 경우	10^{-3}

Table.1 Factors presently adopted for Evaluating Seakeeping Performance and their Critical Values

서 항행하고 있는 경우, NSM에 의해 구해진 선체운동 응답함수로부터 계산된 임의의 내항성능 평가요소의 확률과정 $X_i(t)$의 주파수 응답함수를 $H_{x_i}(\omega_e, V, \chi-\theta)$라 하면, 스펙트럼 $S_{x_i}(\omega_e, \chi)$는 다음과 같다.(6)

$$S_{x_i}(\omega_e, \chi) = \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} |H_{x_i}(\omega_e, V, \chi-\theta)|^2 S_{\zeta}(\omega_e, \theta) d\theta \quad (2\text{-}6)$$

또한 임의의 내항성 요소의 분산치 $\sigma_{x_i}^2$는 다음과 같다.

$$\sigma_{x_i}^2(\chi, V, S) = \int_0^{\infty} S_{x_i}(\omega_e, \chi) d\omega_e \quad (2\text{-}7)$$

위 식의 분산치를 변화시키는 변수는 선박과 파와의 만남각(χ), 선속(V), 해상상태(S)가 된다. 그리고 임의의 내항성 요소에 대한 스펙트럼이 식(2-3)과 같을 때, 확률과정 $X_i(t)$는 다음과 같다.(7)

$$X_i(t) = \int_0^{\infty} \cos(\omega_e t + \psi_i) \sqrt{2 S_{x_i}(\omega_e, \chi) d\omega_e} \quad (2\text{-}8)$$

여기서, $\psi_i = \varepsilon_i(\omega) + \gamma_i$ 이고, γ_i는 0 2 π까지 일양분포하는 위상각이다.

2.5 내항성능 평가요소의 한계표준편차

내항성능 평가요소의 확률과정 $X_i(t)$의 순간시간에 대한 진폭변동은 Gauss 분포를 따르고, 그 극치는 Rayleigh 분포에 따른다.(8-9) 임의의 내항성 요소의 분산치 $\sigma_{X_i}^2$이 구해지면, 확률과정 $X_i(t)$의 극치가 어떤 일정값 X_1을 초과할 확률 Q_{X_i}는 다음과 같다.(10)

$$Q_{X_i} = \int_{X_1}^{\infty} \left(\frac{X_i}{\sigma_{X_i}}\right) \exp\left(-\frac{X_i^2}{2\sigma_{X_i}^2}\right) dX$$

$$= \exp\left(-\frac{X_1^2}{2\sigma_{X_i}^2}\right) \qquad (2\text{-}9)$$

이것을 표준편차 σ_{X_i} **에 관하여 풀면**

$$\sigma_{X_i} = \sqrt{\frac{-X_1^2}{2\ln Q_{X_i}}} \qquad (2\text{-}10)$$

와 같다.

식(2-7)**에 각 내항성요소의 한계치** X_{ic}**를 넘을 확률인 한계확률** $Q_{X_{ic}}$**를 고려하면, 위험치가 되는 표준편차** $\sigma_{X_{ic}}$**를 구할 수 있다.**

$$\sigma_{X_{ic}} = \sqrt{\frac{-X_{ic}^2}{2\ln Q_{X_{ic}}}} \qquad (2\text{-}11)$$

제 3 장 종합 내항성능평가 이론

3.1 내항성능 평가치와 위험도

선박의 내항성능 평가는 일반적으로 각 내항성능 평가요소가 그 한계치를 초과하는 발생확률로부터 정의되는 평가치, 위험도, 최대 위험도, 상대 위험도를 적용한다.

3.1.1 내항성능 평가치

임의 내항성 요소의 극치 분포는 Rayleigh 분포로서, 그 발생확률을 $Q(X_i)$라고 한다. 이 경우, 표준편차로서 무차원화한 한계치의 역수를 X_i 요소의 평가치 E_{X_i}라 정의한다.

$$E_{X_i} = \frac{1}{\sqrt{-2\ln\{Q(X_i)\}}} = \left[\frac{\sigma_{X_i}}{X_i}\right] \tag{3-1}$$

평가치 E_{X_i}가 0이 되면 임의 요소 X_i의 신뢰도는 1.0이 되고, E_{X_i}가 무한대가 되면 X_i 요소의 신뢰도는 0이 된다.

3.1.2 내항성능 요소의 위험도

임의의 X_i 요소의 주어진 한계발생확률에 관한 한계 평가치를 $E_{X_{ic}}$로 하고, 한계 평가치$E_{X_{ic}}$에 대한 평가치E_{X_i}의 비를 X_i 요소의 위험도 μ_{X_i}라 정의한다.

$$\mu_{X_i} = \frac{E_{X_i}}{E_{X_{ic}}} = \frac{\left[\frac{\sigma_{X_i}}{X_i}\right]}{\left[\frac{\sigma_{X_{ic}}}{X_i}\right]} = \frac{\sigma_{X_i}}{\sigma_{X_{ic}}} \qquad (3\text{-}2)$$

여기서 $\sigma_{X_{ic}}$는 X_i가 위험하게 되는 한계표준편차이다.

한편, $\mu_{X_i} \geq 1.0$일 경우에는 내항성능 요소 X_i가 위험하고, $\mu_{X_i} < 1.0$일 경우에는 안전하다는 것을 나타낸다.

3.1.3 최대위험도

내항성능 평가요소의 위험도 μ_{X_i}에서 최대치를 최대위험도 μ_M이라 정의한다.

$$\mu_M(\chi, V, S) = Maximum[\mu_i(\chi, V, S)]$$

이 μ_M은 어떤 상황하에서의 각 내항성 요소의 위험도 μ_{X_i}중에서 가장 최대인 값이다.

3.1.4 상대위험도

임의 X_i, X_j 요소의 위험도가 μ_i, μ_j 인 경우 X_i 요소를 기준으로 하여 나타낸 X_j요소의 위험도의 비를 X_i 요소에 대한 X_j 요소의 상대위험도 μ_{ij}라 정의한다.

$$\mu_{ij} = \frac{\mu_j}{\mu_i} = \frac{\frac{X_i}{\sigma_{X_i}}}{\alpha_{ij} \cdot \left[\frac{X_j}{\sigma_{X_j}}\right]} = \frac{\sigma_{X_{ic}}}{\sigma_{X_{jc}}} \cdot \frac{\sigma_{X_j}}{\sigma_{X_i}} \qquad (3\text{-}3)$$

단, α_{ij} 는 i 요소와 j 요소의 한계 평가치의 비이다.

$$\alpha_{ij} = \frac{E_{X_{jc}}}{E_{X_{ic}}} = \frac{\left[\frac{X_{ic}}{\sigma_{X_{ic}}}\right]}{\left[\frac{X_{jc}}{\sigma_{X_{jc}}}\right]}$$

여기에서 $\mu_{ij} > 1.0$ 인 경우는 X_i 요소에 비해 X_j 요소가 더 위험하고, $\mu_{ij} < 1.0$ 인 경우는 그 반대의 의미를 갖는다.

이러한 상대위험도 μ_{ij} 를 계산함으로써 기준 요소인 X_i 요소와 임의 X_j 요소는 상대적으로 동등하게 성능을 평가할 수 있게 된다. 그것은 X_j 요소의 한계치를 $\alpha_{ij} \cdot \mu_{ij}$ 배한 값이 X_j 요소의 겉보기 한계치(X_{jc})로 되기 때문에 기준으로 한 X_i 요소로서 임의의 X_j 요소의 상태를 평가할 수 있다.

3.2 종합내항성능 평가 이론

기존의 내항성능 평가요소를 이용하여 선박의 항해 안전성을 평가하기 위해서는 센서를 설치하여 모든 내항성능 평가요소를 계측하여야 하나, 현실상 불가능하다.

그래서, 어떤 운항상태에서도 한 개의 내항성능 평가요소만을 계측하여 선박시스템 전체의 항행 안전성을 종합적으로 평가할 수 있는 종합내항성능지표(ISPI: Integrated Seakeeping Performance Index)가 개발되었다.

이것은 각 내항성능 평가요소의 위험도가 같은 경우, 그 발생확률도 같다는 것을 변환하여 계산하는 것으로, 임의 한 개 요소만을 계측하여도 모든 내항성능 평가요소의 최대 위험도를 계산할 수 있기 때문에, 선박 시스템 전체의 항해 안전성을 평가할 수 있는 지표이다.(11)

3.2.1 **내항성능 평가 요소의 변환평가치**

기존의 연구에 의하면 내항성능 요소의 한계발생확률이 각각 다르게 설정되어 있다. 따라서, 한계발생확률이 큰 내항성능 평가요소에 비해 작은 요소의 위험도가 무시되는 경우가 있다. 이것을 보완하기 위해 변환평가치의 개념을 도입했다. 즉, 각 내항성능 평가 요소들이 한계발생확률에 도달하면 그 위험도가 한계발생확률이 가장 큰 프로펠러 레이싱의 한계발생확률 ($Q_{pc} = 10^{-1}$)에 도달하는 것과 같은 값으로 변환하여 평가하는 것이다. 다시 말해, 내항성능 평가요소의 위험도가 프로펠러 레이싱의 위험도와 같은 경우, 그 발생확률도 프로펠러 레이싱의 발생확률과 동일하게 되는 각 요소의 평가치 (E_i)에 대한 변환평가치 ($\widetilde{E_i}$) 를 다음과 같이 나타낸다.

1) **프로펠러 레이싱에 대한 변환 평가치**

$$(\widetilde{E_p}) = \frac{E_p}{\alpha_{pp}} = E_p \cdot \frac{E_{pc}}{E_{pc}} = E_p \qquad (3\text{-}4)$$

여기서,

E_p : 프로펠러 레이싱의 평가치

$\widetilde{E_p}$: 프로펠러 레이싱의 변환평가치

E_{pc} : 프로펠러 레이싱의 한계평가치

이다.

2) **프로펠러 레이싱 이외의 임의 요소에 대한 변환평가치**

$$\widetilde{E_i} = \frac{E_i}{\alpha_{pi}} = \frac{E_{pc}}{E_{ic}} \cdot E_i = \mu_i \cdot E_{pc}$$

$$\widetilde{E_j} = \frac{E_j}{\alpha_{pj}} = \frac{E_{pc}}{E_{jc}} \cdot E_j = \mu_j \cdot E_{pc} \qquad (3\text{-}5)$$

여기서,

α_{pi} : 프로펠러 레이싱과 i 요소의 한계평가치의 비 $(\frac{E_{ic}}{E_{pc}})$

μ_i : i 요소의 위험도 $(\frac{E_i}{E_{ic}})$

이다.

3.2.2 종합내항성능 지표의 정의

N개의 내항성능 평가요소로 구성된 선박 전체 시스템의 변환평가치 $\widetilde{E_T}$는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\widetilde{E_T} = \frac{1}{\sqrt{-2\ln(1-\widetilde{P_T})}} \quad (3\text{-}6)$$

여기서,

$$\widetilde{P_T} = \prod_{i=1}^{N} \widetilde{P_i}$$

이다.

그리고, 내항성능 신뢰도 함수 $\widetilde{P_i}$는 다음과 같다

.

$$\begin{aligned}\widetilde{P_i} &= 1-\exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{1}{\widetilde{E_i}}\right)^2\right\} \\ &= 1-\exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{\alpha_{pi}}{E_i}\right)^2\right\} \\ &= 1-\exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{\alpha_{pi}\cdot X_i}{\sigma_i}\right)^2\right\} \\ &= 1-Q(X_i)^{\alpha_{pi}^2} \quad (3\text{-}7)\end{aligned}$$

또한, 선박시스템의 한계평가치 E_{TC} 는 다음과 같다.

$$E_{TC} = \frac{1}{\sqrt{-2\ln(1-P_{TC})}} \quad (3\text{-}8)$$

여기서,

$$P_{TC} = \prod_{i=1}^{N} P_{ic}$$

$$P_{ic} = 1 - \exp\left\{ - \frac{1}{2} \left(\frac{X_i}{\sigma_{ic}} \right)^2 \right\} = 1 - Q_{X_{ic}} \quad (3\text{-}9)$$

P_{TC} : 내항성능 신뢰도함수

$Q_{X_{ic}}$: 각 요소의 한계발생확률

이다.

전체 선박시스템의 항행 안전성은 한계평가치(E_{TC})와 변환 평가치 E_T의 관계로서 종합내항성능지표 $\widetilde{\mu_T}$ 를 계산하여 평가하게 된다.

여기서 $\widetilde{\mu_T}$는 다음과 같이 정의된다.(11-12)

$$\widetilde{\mu_T} = \frac{\widetilde{E_T}}{E_{TC}} = \sqrt{\frac{\ln(1 - P_{TC})}{\ln(1 - \widetilde{P_T})}} \quad (3\text{-}10)$$

그리고, $\widetilde{\mu_T} \geq 1$인 경우에는 선박 시스템 전체가 위험하고, $\widetilde{\mu_T} < 1$인 경우에는 안전한 것으로 평가할 수 있다.

또한 이 $\widetilde{\mu_T}$ 는 내항성능 평가요소중 한 개의 요소라도 그 위험도가 1보다 큰 경우, $\widetilde{\mu_T}$ 도 1보다 크게 되는 성질을 가지고 있다. 따라서, $\widetilde{\mu_T}$ 는 내항성능 평가요소의 최대위험도와 근사하는 값이 된다. 이러한 방법은 한 개의 요소만을 계측하여 모든 내항성능 평가요소의 최대위험도의 근사치를 구할 수 있다.

$$\widetilde{\mu_T} = \mu_m(\chi, V, S) = Maximum[\mu_i(\chi, V, S)]$$

3.2.3 임의의 대표적인 요소에 의한 항해 안전성평가

내항성능평가 요소 중 대표적인 요소 한 가지에 의해 선박 전체의 항해 안

전성을 평가 할 수 있다. 즉, 임의의 대표적 요소 X_j로서 신뢰도함수 $\widetilde{P_i}$를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\widetilde{P_i} = 1 - \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{\alpha_{pi} X_j}{\beta_i \cdot \sigma_j}\right)^2\right\}$$

$$= 1 - \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{\alpha_{pi} \cdot X_j}{\alpha_{ji} \cdot \mu_{ji} \cdot \sigma_j}\right)^2\right\}$$

$$= 1 - \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{E_{ic}}{E_{pc}} \cdot \frac{E_{jc}}{E_{ic}} \cdot \frac{X_j}{\mu_{ji}\sigma_j}\right)^2\right\}$$

$$= 1 - \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{\alpha_{pj}}{\mu_{ji}} \cdot \frac{X_j}{\sigma_j}\right)^2\right\}$$

$$= 1 - Q(X_j)^{\left(\frac{\alpha_{pj}}{\mu_{ji}}\right)} \qquad (3\text{-}11)$$

여기서, $Q(X_j) = \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{X_j}{\sigma_j}\right)^2\right\}$

$\beta_i = \alpha_{ji} \cdot \mu_{ji}$

α_{pj} : 프로펠러 레이싱에 대한 임의 j요소의 한계평가치의 비이다.

제 4 장 실선 계측을 통한 선박 종합내항성능평가

4.1 선체운동 가속도 계측 · 해석 시스템

본 시스템은 가속도 계측 · 해석 장치내에 장착된 2개의 고정도 가속도 센서(Accelerometer)를 이용하여, 복잡한 선체의 6자유도 운동에서 얻어지는 선체의 좌우 가속도 및 상하 가속도를 측정하여 이를 표시해 주는 자료 취득 시스템(Data Acquisition System)이다.

여기서 선체의 좌우가속도를 X축, 상하가속도를 Z축으로 하여 계측한, 선체 가속도값의 평균 및 분산값을 퍼스널 컴퓨터를 통해 수집 · 통계 처리한다.

가속도 계측 · 해석장치는 내항성능 평가요소 중 계측이 편리하고, 화물의 안전과 승조원의 작업성 등에 직접적인 영향을 주는 상하, 좌우가속도를 계측하여 그 데이터를 분석하는 시스템이다.

가속도 계측 · 해석장치의 제원은 275㎝×185㎝×140㎝이며, 중량은 2.5 Kg이다.

가속도 계측 · 해석 시스템의 기본적인 Flow Chart는 Fig.3과 같으며, 실험장치를 실선의 선교에 장치한 상황은 Fig.4에 제시한다.

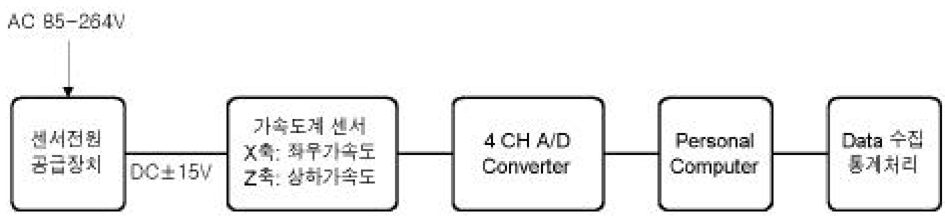


Fig.3 Flow Chart in Measurement & Analysis System

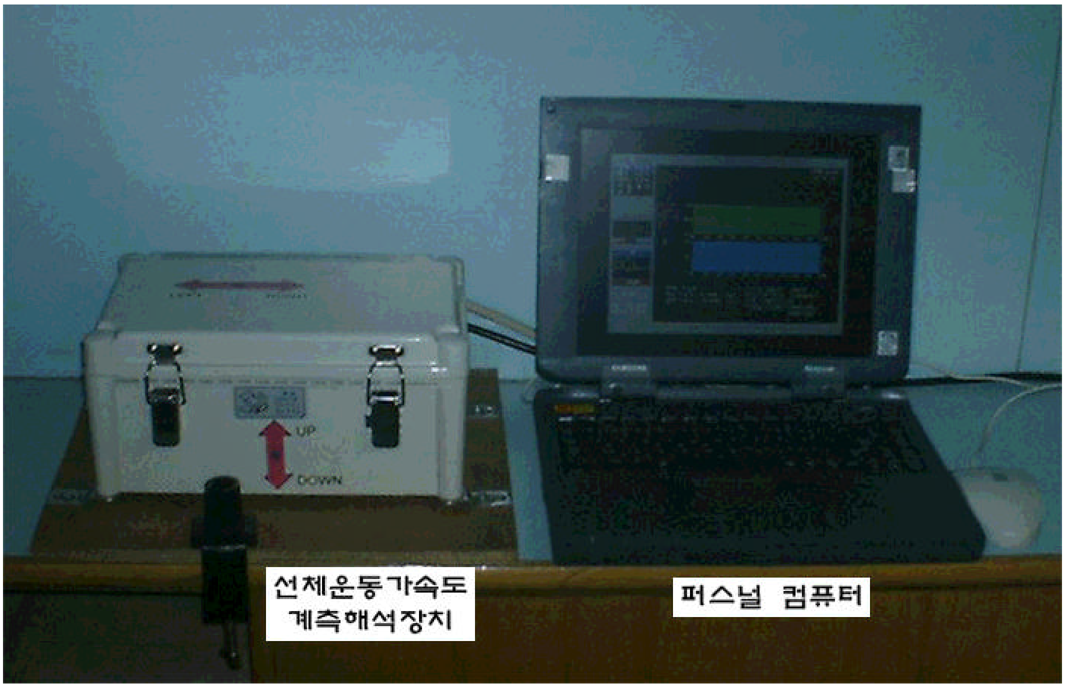


Fig.4 Photograph of the Experimental Apparatus

4.1.1 신호처리절차

가속도 계측 · 해석 실험장치는 AC 85 264V의 전압이 공급될 때, 전원 스위치가 이를 제어, 센서 전원 공급장치를 통해 DC±15V로 변환시킨다. 변환된 전압이 단자대를 통해 가속도 센서에 전원을 공급한다. 이 때, 선체의 움직임에 따라 발생하는 X축(좌우) 및 Z축(상하)의 가속도량(전기적인 Analog 신호)를 A-D 변환기(Analog-Digital Converter)를 통해 퍼스널 컴퓨터에서 인식 가능한 Digital 신호 레벨로 변환시켜 병렬로 신호를 보내준다. 퍼스널 컴퓨터는 이 신호를 받아 계측되는 가속도량을 파일로 저장하여 데이터를 수집 통계 처리한다. 본 실험장치의 내부장치도는 Fig.5에 제시한다.

본 시스템의 데이터 취득 및 분석에 사용된 소프트웨어는 'VD-20(Vessel Dynamic)' 이며, 볼랜드 C++로 구성되었다. 실시간으로 계측한 값을 화면에 표시하도록 설계되어 있으며, 계측이 끝난 다음에 실선계측자료의 재생 또는 계측자료를 그래프로 변환해 주지는 못하는 단점이 있다.

4.1.2 가속도 센서(Accelerometer)

본 연구에 사용된 가속도 센서는 Fig.6에서와 같이 진동질량 m이 센서 패키징안의 스프링에 의해 매달려 있는 구조로 모델링 할 수 있는 기계식 센서이다. 이 센서가 가속도 **a**에 의해 움직이게 되면, 관성력에 의해 진동 mass의 상대적 변위 **x**가 생기게 되고, 그것이 전기적 신호로 감지된다. 그 동작방정식은 아래와 같이 주어진다.

$$ma = m\frac{d^2x}{dt^2} + \lambda\frac{dx}{dt} + kx \qquad (4\text{-}1)$$

여기서, k는 스프링 상수, λ는 damping 상수이다.

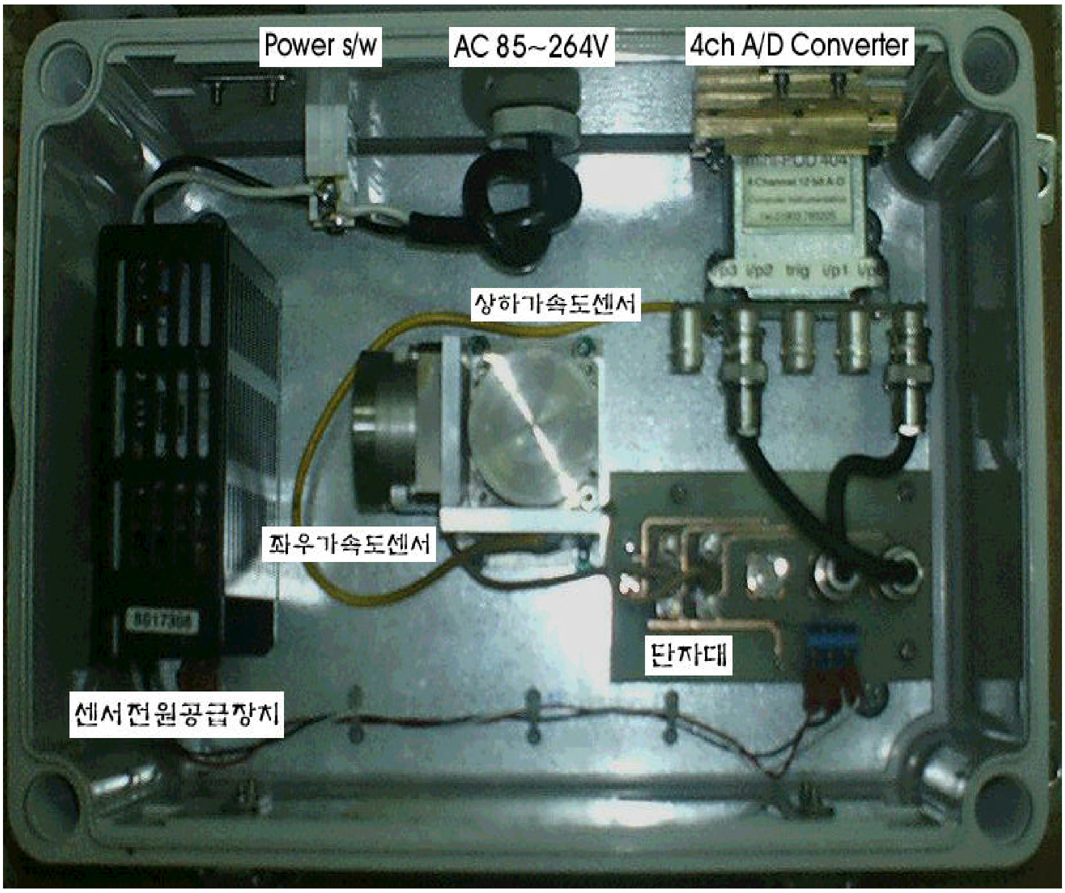


Fig.5 Photograph of the Measuring System's Internal Apparatus

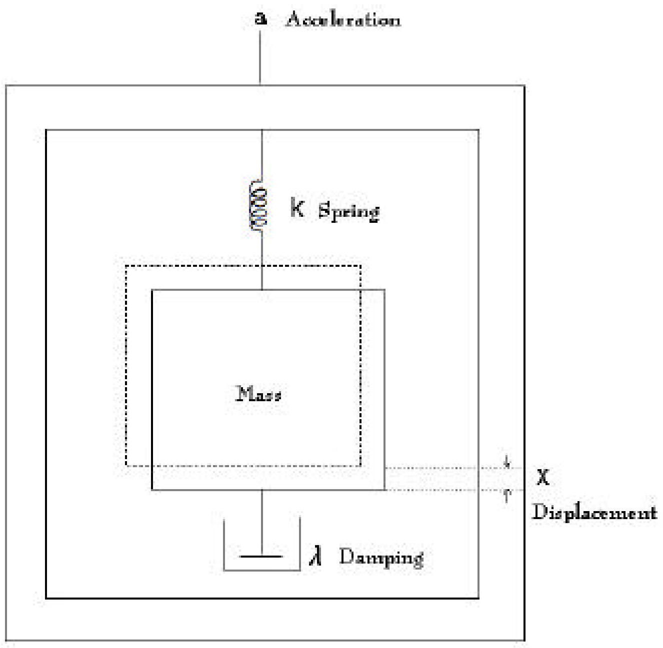
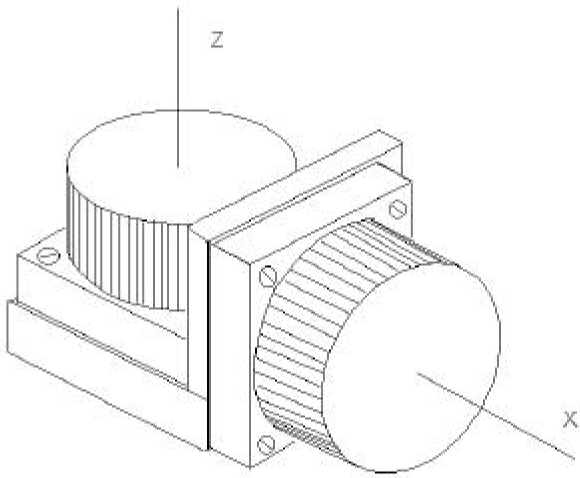


Fig.6 Accelerometer Principle

선체운동 가속도 계측 · 해석 시스템에 사용된 가속도 센서의 주요 사양은 Table.2에 나타내며, 두 개의 가속도 센서를 설치하여 좌우가속도를 X축, 상하가속도를 Z축 방향으로 하여 계측한다.

4.1.3 환경설정

본 시스템의 프로그램 환경을 설정할 수 있는 파일은 'vd20.cfg' 파일이다. 파일 저장 간격, 불감대 조정, 측정기준 가속도값 설정, 시작 디렉토리명 등을 설정 및 변경할 수 있으며, 'vd20.cfg' 파일에 포함된 내용은 [부록1]에 나타내고 있다.



Measurement Axis Direction of the Accelerometer

ITEMS	DIMENSION
Measured acceleration range	±2 g
Scale Factor	5 V/g
Operating temperature	- 50° C ,+ 70° C
Power consumption	0.5 W
Shock resistance	30 g
Vibration strength within a range of up to 500 Hz	5 g
Supply voltage	±15 V
Dimension	38×38×25 (㎜)
Mass	115 (g)

Table.2 Principal Specifications of the Accelerometer

4.1.4 데이터의 수집 및 통계처리

계측 센서로부터 얻어진 데이터는 양과 음의 두 개의 극치(Extreme value)가 나타난다. 그런데, 일반적인 선체의 운동은 기준점을 중심으로 상하/좌우 대칭운동을 하기 때문에 두 값을 다 취하여 계산할 필요가 없다. 그래서, 본 시스템에서는 좌우 및 상하 가속도의 양의 극치값만을 취하며, 이들 값을 각각 L(좌우) 및 U(상하)로 시작하는 파일로 저장한다. 그리고, 이들 파일이 혼돈되지 않도록 반드시 디렉토리를 새로 설정하여 그 디렉토리에 저장한다.

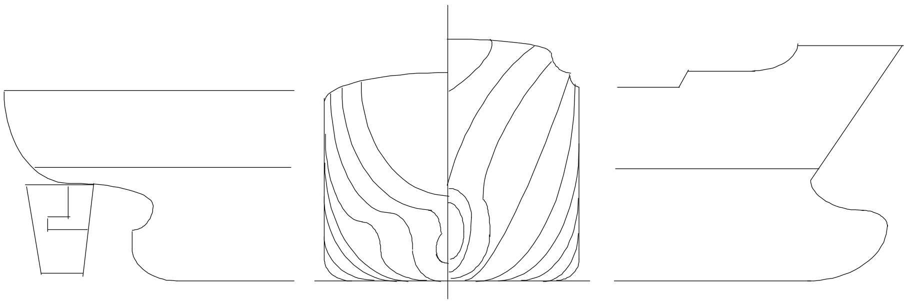
본 시스템에서 행하는 통계처리는 각 파일당의 극치값의 평균 및 분산치이며, 저장을 시작한 때로부터 최종 파일에 이르기까지의 평균, 분산치를 계산하여 파일의 끝에 표시한다. 각각의 파일은 평균 및 분산치는 M, V로 표시되며, 측정 개시후 현재까지의 평균 및 분산치는 M2, V2로 나타난다.

4.1.5 계측 방법

본 연구의 실선 계측 대상선은 여객선형인 '한나라호'이며, 그 주요목은 Table.3에 나타낸다. 계측은 한나라호의 '99-1차 원양항해('99년 4월 20일 5월 11일) 기간 및 '99-2차 원양항해('99년 10월 2일 10월 26일)중 실시하였으며, 자세한 항해 일정은 Table.4 5와 같다.

이에 앞서 실선 적용 가능 여부를 판단하고자 '98-2차 원양항해('98년 10월 20일 11월 9일)중 동일한 방법으로 실선에 탑재하여 계측을 해 보았으나, 본 연구에서 수치계산은 행하지 않았다.

계측은 한나라호에 승선하고 있는 실습생중 각 당직조에서 1명을 선발하여 사전 교육 후 계측하도록 하였다. 계측방법은 매 4시간 당직중 교대시간을 기준으로 약 30분 1시간 계측을 행하였으며, 기상 악화시 또는 기타 필요시



Lines and Sheer Profile of T/S HANNARA

ITEMS		DIMENSION
Length P.P.	Lpp (m)	93
Breadth	B (m)	14.5
Depth	D (m)	7
Mean Draft	dm (m)	5.115
Displacement Volume	(m3)	4,274.82
Block Coefficient	Cb	0.6028
Length-Breadth Ratio	L/B	6.414
Breadth-Draft Ratio	B/D	2.835
Height of C.G.	KG (m)	5.033
Metacentric Height	GM (m)	1.355
Rolling Period	TR (sec)	13.142
Propeller Diameter	DP (m)	3.55
Propeller Pitch Ratio	p	0.751

Table.3 Principal Particulars of T/S HANNARA

항구명	입항일시 / 출항일시	거 리 (Mile)	속 력 (Kts)	항해일수
PUSAN	·			
	1999. 4.20(화) 11:00	1830	12.71	5d-23h
HAIPONG	1999. 4.26(월) 10:00			
	1999. 4.29(목) 10:00	1400	13.86	4d-05h
CEBU	1999. 5. 3(월) 15:00			
	1999. 5. 6(목) 17:00	1541	13.76	4d-17h
PUSAN	1999. 5.11(화) 10:00			
	·			
총 합계	**22일간**	4771	13.36	14d-21h

Table.4 the Navigation Schedule of Voyage No. 66-99-03

항구명	입항일시 / 출항일시	거 리 (Mile)	속 력 (Kts)	항해일수
PUSAN	·			
	1999. 10. 2(토) 11:30	821	11.81	2d-21h
OTARU	1999. 10. 5(화) 09:00			
	1999. 10. 8(금) 09:30	1111	11.51	4d-00h
OSAKA	1999. 10.12(화) 10:00			
	1999. 10.15(목) 09:48	1192	11.36	4d-05h
TIANJIN	1999. 10.19(화) 17:42			
	1999. 10.22(금) 14:54	1168	12.92	3d-18h
PUSAN	1999. 10.26(화) 10:18			
	·			
총 합계	**24일간**	4292	12.01	14d-20h

Table.5 the Navigation Schedule of Voyage No. 76-99-13

1시간 이상 계측도 하였다. 전 항해에 걸쳐 계측을 하면 정확한 내항성능을 평가할 수 있겠지만, 장비 운용상 문제점이 있기 때문에 매 당직시간중 약 30분 1시간 정도의 샘플 계측을 한 것이다.

설치장소는 대상선박인 한나라호의 학생 브릿지이며, 설치시 선수방향은 선체중심선상에, 좌우방향은 선체중심선과 수직이 되도록 설치하였다. 선체운동의 계측이라는 관점에서, 가능한 선체중심에 장비를 설치하면 정확한 계측을 행할 수 있기 때문이다. 또한, 선체의 심한 운동으로 인해 실험장치의 동요가 생기지 않도록 고정을 하였다.

위와 같은 방법으로 선체 가속도를 계측할 때의 컴퓨터상의 화면 구성도를 Fig.7과 같이 나타낸다.

그리고, 계측을 통해 취득된 데이터 형식 예를 [부록2]에 나타내고 있다.

4.2 실선계측을 통한 선박 종합내항성능 평가

앞장에서 정의한 내항성능지표($\widetilde{\mu_T}$)는 내항성능 평가요소중 한 개 요소만을 계측하여 선박 전체의 항해 안전성을 평가할 수 있는 지표이다.

따라서, 본 장에서는 내항성능 평가요소 중 선박운항자들이 감각적인 면에서 정량화된 평가요소로 채택하기 쉬운 상하 및 좌우 가속도를 선체운동 가속도 계측ㆍ해석 시스템을 통해 계측하여 그 중 발생확률이 큰 한 개의 요소만을 채택하여 종합내항성능을 평가한다.

실선계측을 통한 선박 종합내항성능 평가 시스템의 구성은 Fig.8과 같다.

4.2.1 계측된 두 개의 요소를 이용한 항해 안전성 평가

파랑중 선체의 운동은 6자유도 운동으로, 3축에 대한 병진운동과 3축의 주위에 대한 회전운동을 한다. 그러나, 선체는 좌우대칭형 물체이고 길이에 비해

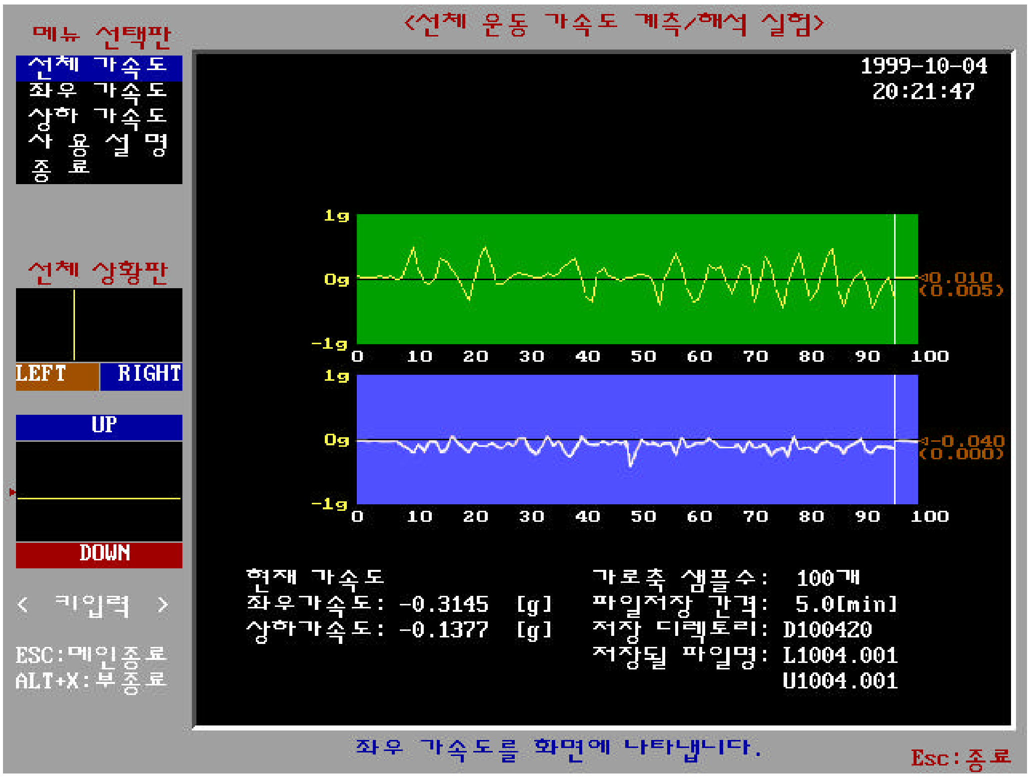


Fig.7 the Composition of a Measurement Scene

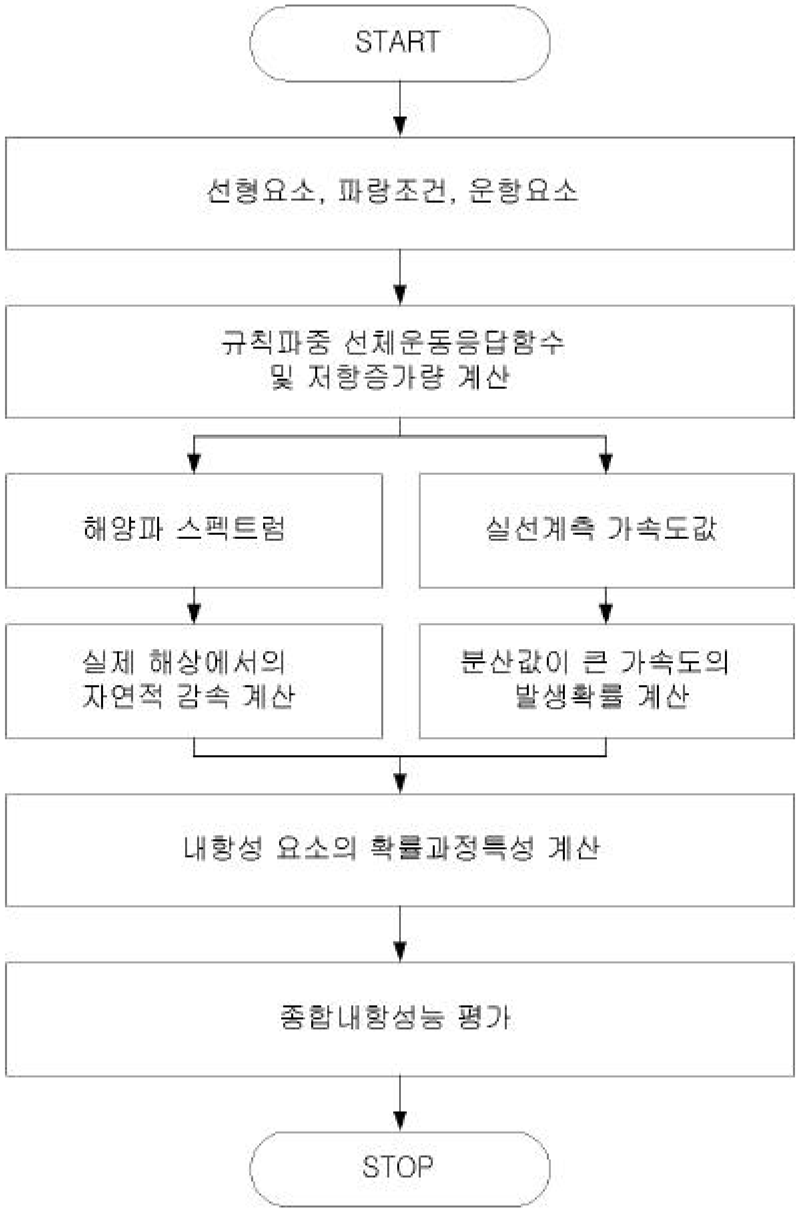


Fig.8 Block Diagram of Integrated Seakeeping Performance Evaluation System

폭, 흘수가 작은 선형(Slender Body)이므로 6자유도 운동이 모두 연성되지는 않는다.(15) 즉, 횡동요 및 종동요 운동이 연성 운동을 하지 않고, 독립적으로 운동을 하는 경우가 발생한다. 이렇게 두 내항성능 요소가 독립적인 운동을 할 경우 임의의 한가지 요소만으로 내항성능을 평가하면 독립된 다른 요소에 대해서는 고려가 되지 않아 정확한 안전성 평가를 할 수 없는 경우가 발생할 수 있다.

그런데, 내항성능 평가요소 중 상하 및 좌우가속도는 한계치 및 한계발생 확률이 동일하기 때문에, 계측된 두 가속도의 분산치를 비교하여 그 값이 큰 요소의 발생확률만 구해 내항성능을 평가하고자 하는 것이다.

식(3-7)의 $\widetilde{P_i}$는 분산치를 비교해 그 값이 큰 요소를 기준으로 하며, $Variance_{(AV)} \geq Variance_{(AT)}$라 가정할 때 내항성능지표 $\widetilde{\mu_T}$ 를 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\widetilde{P_i} = 1 - \exp\left\{ -\frac{1}{2}\left(\frac{\alpha_{pi} \cdot X_{AV}}{\beta_i \cdot \sigma_{AV}}\right)^2 \right\}$$

$$= 1 - \exp\left\{ -\frac{1}{2}\left(\frac{\alpha_{pi} \cdot X_{AV}}{\alpha_{AVi} \cdot \mu_{AVi} \cdot \sigma_{AV}}\right)^2 \right\}$$

$$= 1 - \exp\left\{ -\frac{1}{2}\left(\frac{E_{ic}}{E_{pc}} \cdot \frac{E_{AVc}}{E_{ic}} \cdot \frac{X_{AV}}{\mu_{AVi} \cdot \sigma_{AV}}\right)^2 \right\}$$

$$= 1 - \exp\left\{ -\frac{1}{2}\left(\frac{\alpha_{PAV}}{\mu_{AVi}} \cdot \frac{X_{AV}}{\sigma_{AV}}\right)^2 \right\}$$

$$= 1 - Q(X_{AV})^{\left(\frac{\alpha_{PAV}}{\mu_{AVi}}\right)} \qquad (4-1)$$

여기서,

$$Q(X_{AV}) = \exp\left\{ -\frac{1}{2}\left(\frac{X_{AV}}{\sigma_{AV}}\right)^2 \right\}$$

$$\beta_i = \alpha_{AVi} \cdot \mu_{AVi}$$

α_{PAV} : 프로펠러 레이싱에 대한 임의 j요소의 한계평가치의 비이다.

그런데, 프로펠러 레이싱과 상하 가속도의 한계발생확률이 각각 $Q_{pc} = 10^{-1}$, $Q_{AVc} = 10^{-3}$ 이므로, $\alpha_{PAV} = 1/\sqrt{3}$ 로 되는 값이다. 따라서 식(4-1)은 다음과 같이 간단히 나타낼 수 있다.

$$\widetilde{P_i} = 1 - Q(X_{AV})^{\frac{1}{3}\left(\frac{1}{\mu_{AVi}}\right)^2} \qquad (4\text{-}2)$$

식(4-2)를 통해 선박 전체의 내항성능 신뢰도를 구하면 식(4-3)과 같다.

$$\widetilde{P_T} = \prod_{i=1}^{N} \widetilde{P_i} \qquad (4\text{-}3)$$

여기서, 선박 전체시스템의 변환평가치는 아래식과 같다.

$$\widetilde{E_T} = \frac{1}{\sqrt{-2\ln(1-\widetilde{P_T})}} \qquad (4\text{-}4)$$

계산된 식(4-4)의 변환평가치와 식(3-8)의 한계평가치를 통해 실선계측 결과에 의한 종합내항성능지표 $\widetilde{\mu_T}$ 를 아래 식과 같이 구한다.

$$\widetilde{\mu_T} = \frac{\widetilde{E_T}}{E_{TC}} = \sqrt{\frac{\ln(1-P_{TC})}{\ln(1-\widetilde{P_T})}} \qquad (4\text{-}5)$$

4.2.2 수치계산의 조건

본 연구에서 수치 계산에 사용한 선형은 $L_{pp} = 93m$ 의 여객선형인 실습선 'HANNARA' 로서 그 주요목은 Table.3에 나타내고 있다. 해상상태는 WMO의 CODE 1100을 이용하였으며, 유의파고 및 평균 파주기는 Table.6에 나타낸다.(17)

Beaufort No.	Mean Wave Period T_0 (sec)	Significant Wave Height H⅓ (m)	Wind Speed (kts)
1	1.2	0.1	1 4
2	1.7	0.2	4 7
3	3.0	0.6	7 11
4	3.9	1.0	11 17
5	5.5	2.0	17 22
6	6.7	3.0	22 28
7	7.7	4.0	28 34
8	9.1	5.5	34 41
9	10.2	7.0	41 48

Table.6 Beaufort Scale Number and Wave Characteristics
(WMO CODE 1100)

4.2.3 수치계산의 평가방법

수치계산은 첫번째, 본선의 운항실적을 토대로 하여 실제 항해중 관측되어 기록되었던 정보를 이용하여 계산하고, 두번째 방법으로 실선계측을 통해 얻은 가속도값을 이용하여 수치계산을 하였다. 수치계산은 '99-1차 및 '99-2차 원양항해 기간 중 대상선박의 운항결과 및 실선 계측값을 모델로 하였으며, 기간중의 자세한 운항실적은 [부록3]에 별도로 나타낸다.

4.2.4 수치계산 결과

항해중 실선계측을 통해 선체의 상하 및 좌우가속도 값을 얻을 수 있다.

그러나, 본 연구에서는 두 값 중 하나의 가속도 값만을 대입하여 내항성능 평가를 행한다. 그래서, ‘99-1차 원양항해중의 상하 및 좌우 가속도 각각의 경우에 대해 평가된 내항성능지표를 비교하여 Fig.9 11과 같이 나타낸다. 이 경우 대체적으로 내항성능지표가 유사하게 평가되었으나, 침로·풍향 등의 계측 당시의 자연환경에 따라 상하가속도에 의해 계산된 $\widetilde{\mu_T}$ 가 좌우가속도에 의한 $\widetilde{\mu_T}$ 보다 더 크게 나타난 경우가 있는 것을 알 수 있다. 또한, 그 반대의 경우도 나타나고 있다.

선박의 항해중 안전사고는 인명 및 재산, 해양환경 등의 막대한 피해 가능성이 상존하기 때문에 항해안전성 평가결과가 실제보다 안전하다고 평가되는 것보다는 다소 위험하다고 평가되는 것이 실선에 적용했을 때 선박운항자에게 경각심을 줄 수 있을 것으로 사료된다.

즉, 계측된 요소 중 한가지 요소만으로 내항성능을 평가했을 때는 그 당시의 자연환경에 따라 실제의 위험도보다 과소 평가되는 경우가 발생할 수 있다. 그렇기 때문에 계측된 두 가지 요소를 모두 이용하여 두 요소 중 계측치의 분산값이 큰 요소의 발생확률을 구해 종합내항성능을 평가한다.

이렇게 실선계측에 의한 내항성능 평가결과와 대상선의 기간중 운항실적을 토대로 한 내항성능 평가결과를 Fig.12 18과 같이 비교해 보았다. 그림에서 X축은 항해일시이며, Y축은 내항성능지표를 나타내며, 항해 구역별로 나누어 비교하였다. 여기서 운항실적에 의한 내항성능 평가는 Logbook에 기재된 해상상태, 풍향·풍속, 침로 등의 본선상황 및 자연환경 요소를 대입하여 구한다.

그림의 결과와 같이 원양항해 기간중 대상선의 내항성능지표는 실선계측 및 운항실적에 의한 평가결과 모두 1보다 작았기 때문에 안전했었다고 판단된다. 그러나, ‘99-2차 원양항해중 10월 17일 04시의 경우 운항실적에 의한

내항성능평가결과가 1.011로 위험한 상태였으나, 실선계측에 의한 결과는 0.6558로 안전한 것으로 평가되었다. 즉, 운항실적에 의한 수치계산 결과와 실선계측에 의한 결과가 다소 상이하게 나타난 것이다.

그림에서 알 수 있듯이 수치계산결과가 유사한 경향속에서도 여러 곳에서 다르게 나타나고 있는 것을 알 수 있는데, 그것을 두개의 형태로 나누어 볼 수 있다.

첫 번째, 운항실적에 의한 수치계산결과가 실선계측에 의한 결과보다 큰 경우이다. 10월 17일 04시의 경우가 해당되는데, 그 당시 Logbook상의 목시관측된 해상상태는 NBF 7에 상응하는 등급이었다. 그러나, 이 경우에 해상상태를 한단계 낮은 6등급으로 수치계산을 행하였을때는 0.7594로서 실선계측에 의한 계산결과와 유사한 값을 나타낸다. 동일한 방법으로 즉, 운항실적에 의한 수치계산 결과가 실선계측에 의한 결과보다 큰 경우의 해상상태를 한단계 낮추어, '99-2차 원양항해중 'OSAKA-TIANJIN' 구역에서 수치계산을 했을 때의 두 결과치가 거의 일치하는 것을 알 수 있다.(Fig.19) 즉, 위 기간 중 항해사의 해상상태에 대한 목시관측이 실제보다 과장되어 기록된 것이라 할 수 있다.

두 번째는 반대의 경우로서 실선계측에 의한 결과치가 더 높게 나타난 경우이다. 이러한 경우는 대부분 해상상태가 낮은 경우 또는 해상상태가 높았다가 낮아진 시점에서 주로 일어나고 있다.

위와 같은 두 가지 형태로 인해 두 개의 수치계산결과가 상이하게 평가되기도 하지만, 대체적으로 내항성능 평가결과의 경향은 유사함을 알 수 있다.

결론적으로 운항실적에 의한 수치계산결과와 실선계측에 의한 내항성능평가결과의 비교를 통해 이러한 선체운동 가속도 계측·해석 시스템의 실선 적용이 가능함을 보여 주고 있다.

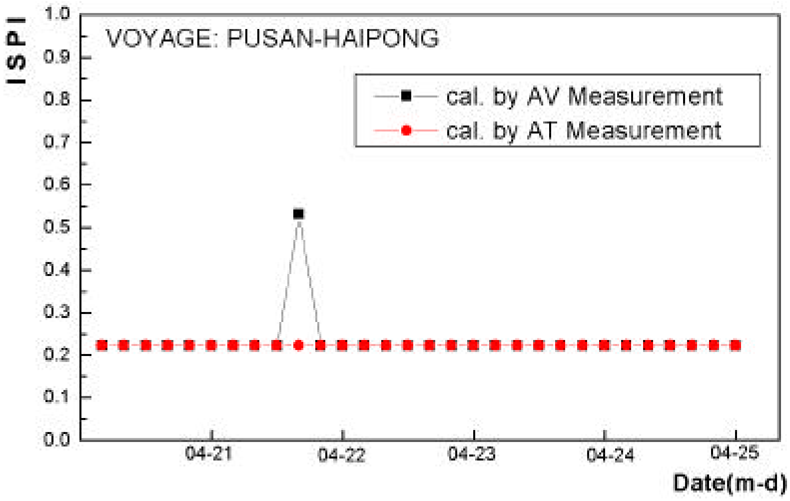


Fig.9 Comparision of ISPI by Measurement

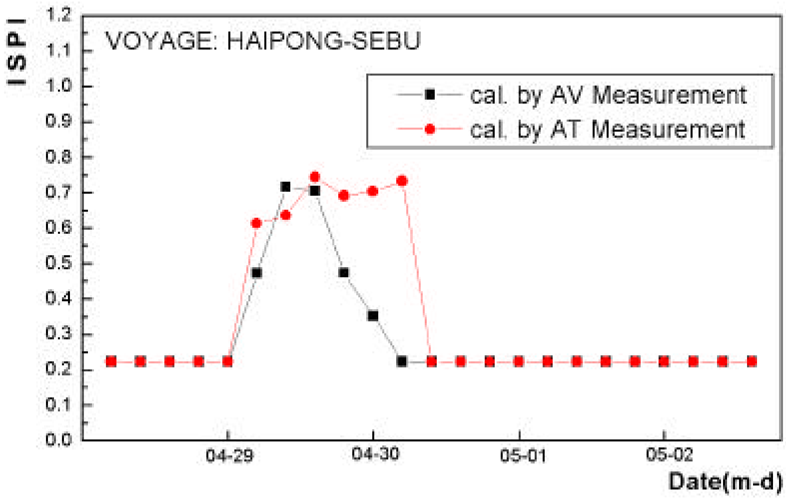


Fig.10 Comparision of ISPI by Measurement

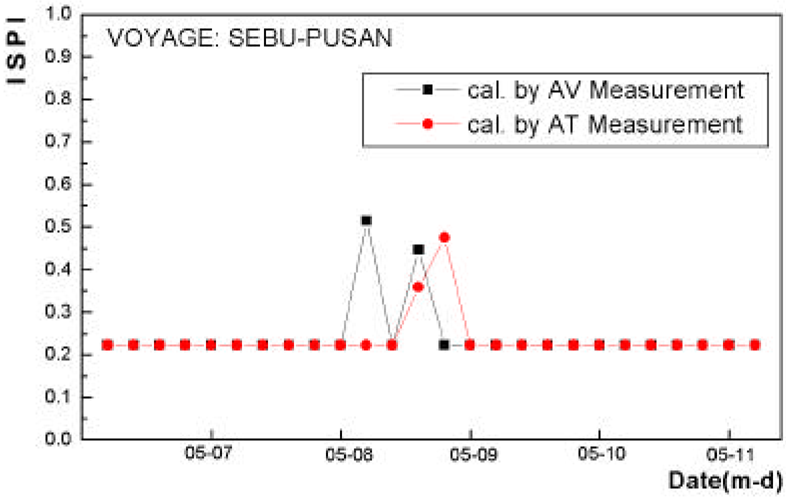


Fig.11 Comparision of ISPI by Measurement

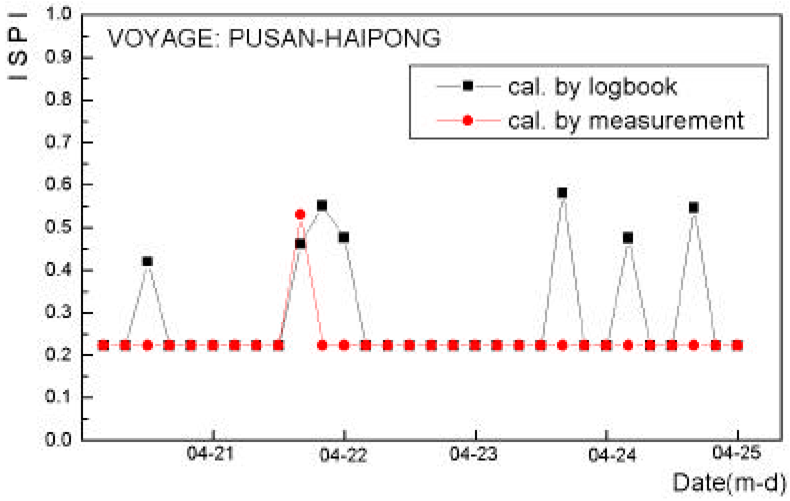


Fig.12 Comparision of Integrated Seakeeping Performance index

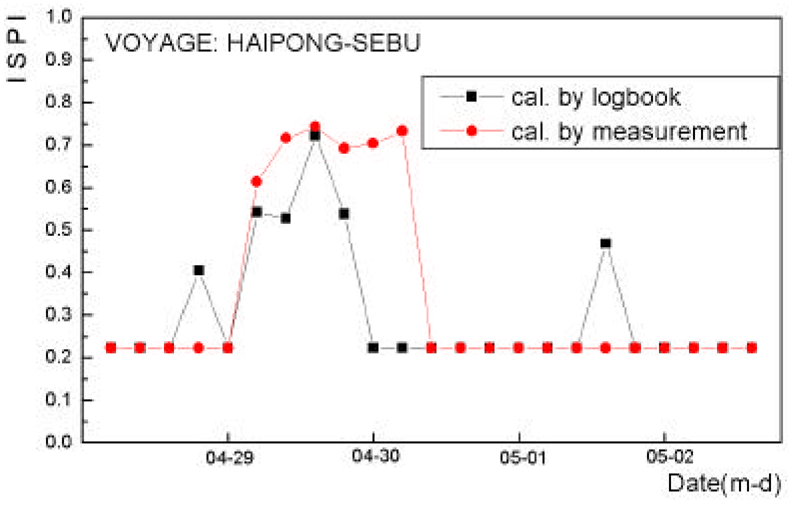


Fig.13 Comparision of Integrated Seakeeping Performance index

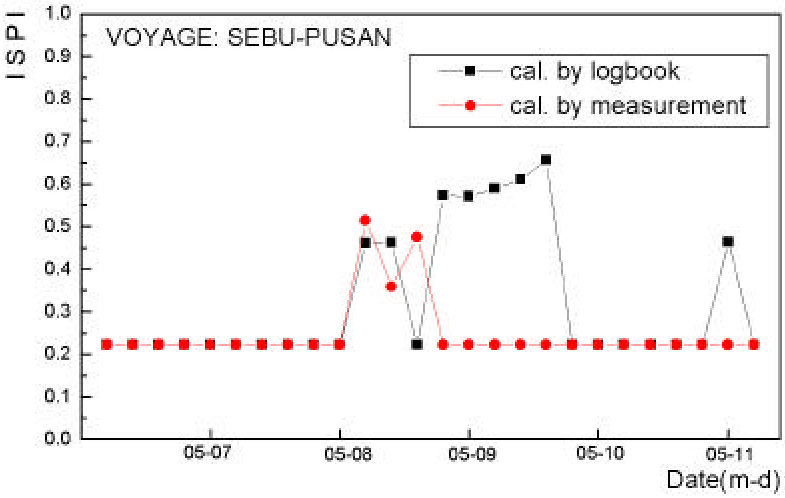


Fig.14 Comparision of Integrated Seakeeping Performance index

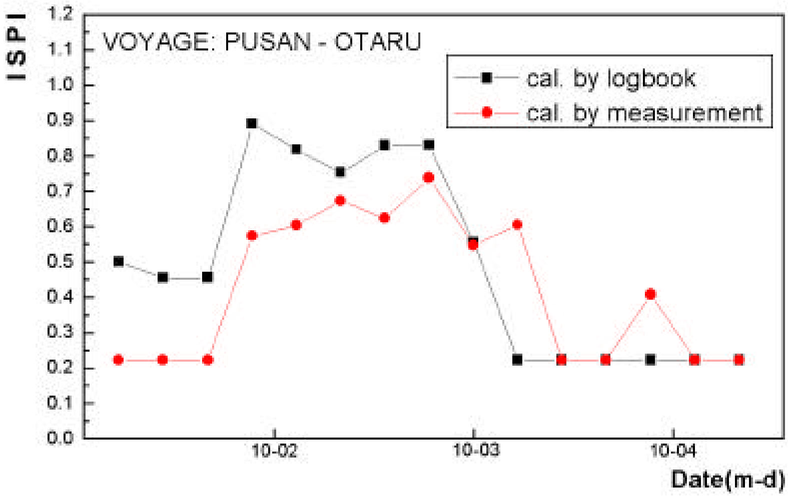


Fig.15 Comparision of Integrated Seakeeping Performance index

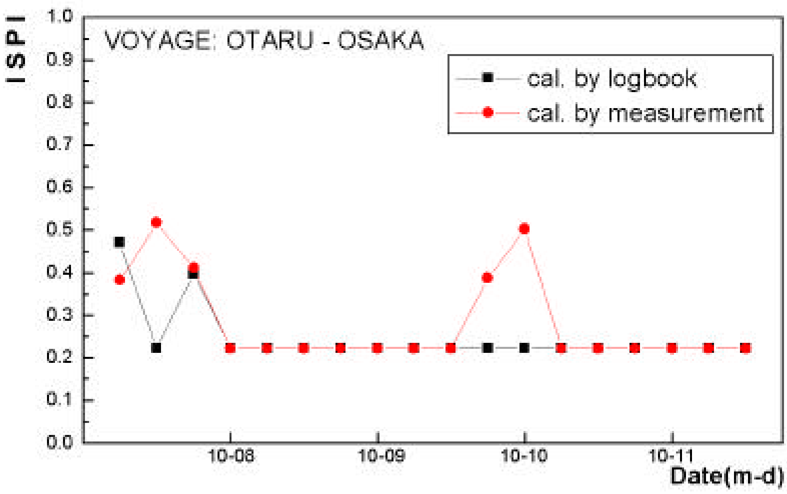


Fig.16 Comparision of Integrated Seakeeping Performance index

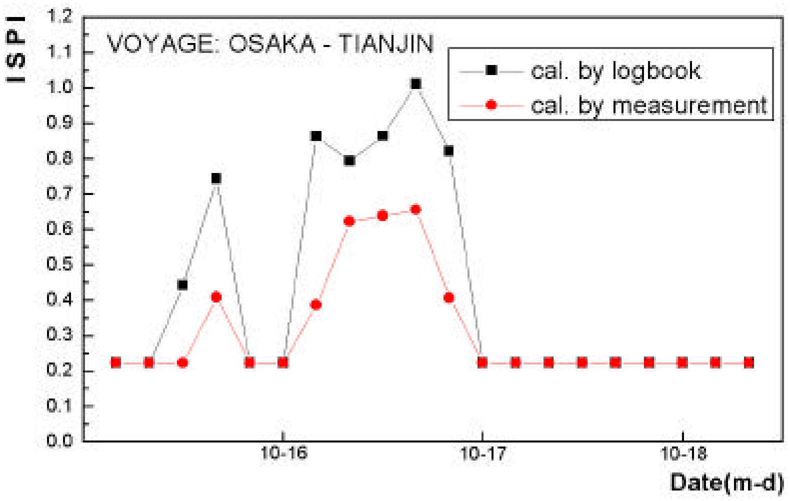


Fig.17 Comparision of Integrated Seakeeping Performance index

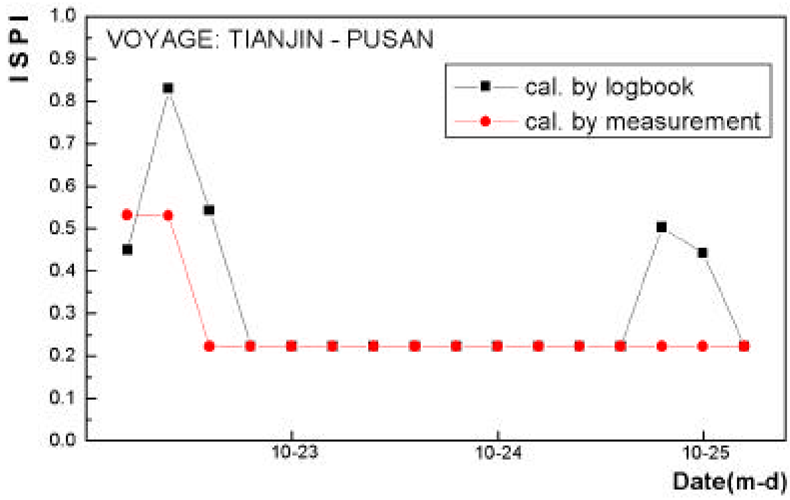


Fig.18 Comparision of Integrated Seakeeping Performance index

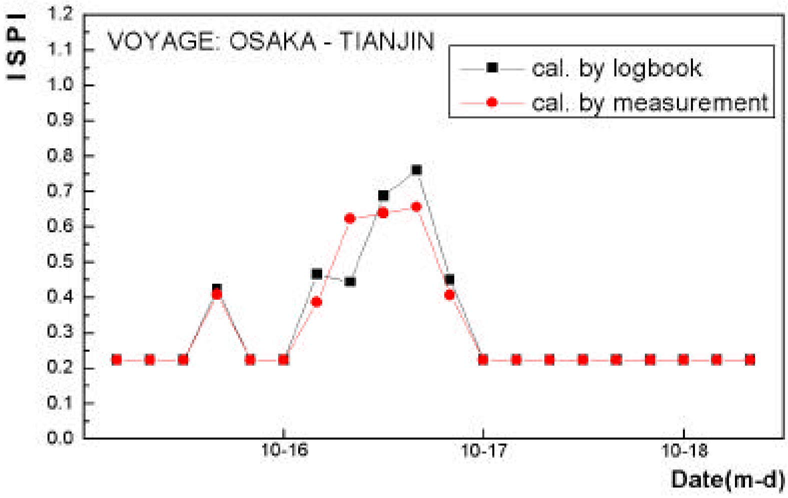


Fig.19 Comparision of ISPI by Logbook's NBF down

4.3 평가도 화상처리

Fig.20 21은 실선계측을 통해 구한 내항성능지표 ($\widetilde{\mu_T}$)를 이용하여 항해안전성을 나타낸 평가도이다. 그림(a)는 본선운항실적을 토대로 하여 평가된 내항성능지표이며, 그림(b)는 실선계측에 의해 평가된 내항성능지표이다. 평가도 안쪽의 굵은 점선은 시뮬레이션에 의한 내항성능 평가요소의 위험도를 나타낸다. 운항자는 이런 평가도를 이용하여 그 당시의 항해위험도를 시각적으로 쉽게 판정할 수 있다.

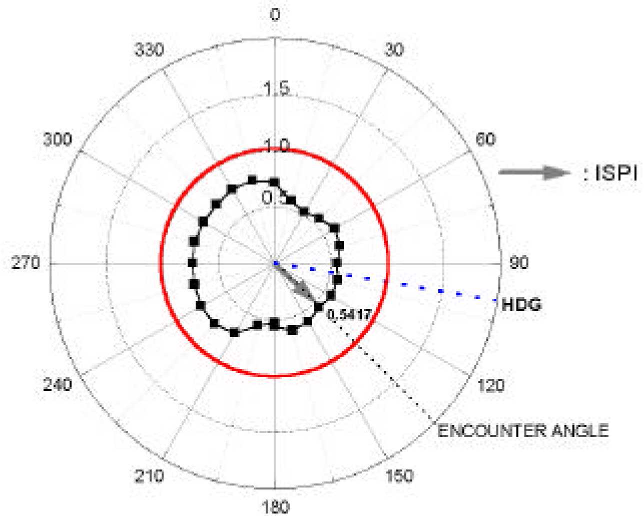
이러한 평가도를 'Visual Basic 6.0' 프로그램을 이용하여 컴퓨터 화면에 화상처리해 보았다.(Fig.22) 그림에서 $\widetilde{\mu_T}$ = 1.0은 내항성능지표의 한계 위험치를 나타내고, 각도는 파도와의 만남각을, 굵은 실선은 내항성능 지표를 나타낸다. 내항성능 지표가 한계치인 $\widetilde{\mu_T}$ = 1의 원을 초과할 때 이 선박은 위험하게 된다. 즉, 녹색선 안쪽의 경우에는 안전하고, 적색선을 넘어서면 선박은 위험하게 되는 것이다.

Fig.22에서 계측환경은 선속 12.75kts, 침로 0°, 해상상태는 Beaufort scale 6에 상응하는 등급이었다. 파도와의 만남각과 내항성능지표를 입력하면, 해당되는 만남각에 내항성능지표를 화면에 굵은 선으로 표시하도록 구성되어 있다.

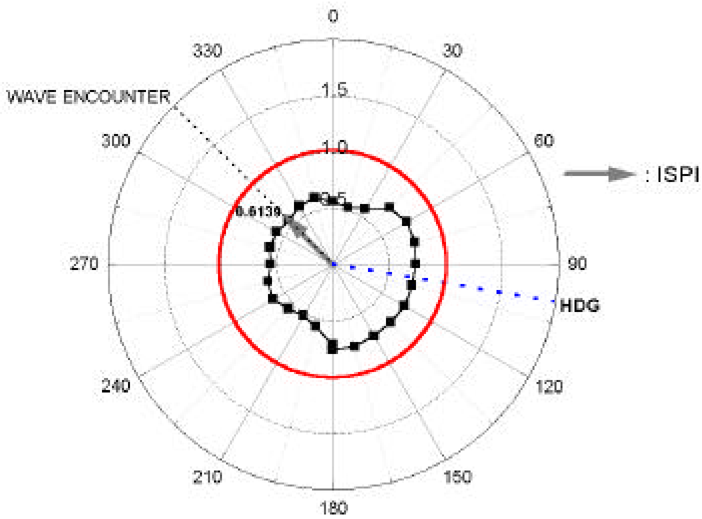
선박탑재용 종합내항성능 평가시스템은 궁극적으로 그 평가 결과도를 화상처리하여 컴퓨터 화면에 보여줌으로써 선박 운항자가 항해 당시의 위험도를 한눈에 판단할 수 있도록 하는데 그 목적이 있다. 현재로서는 만남각에 대한 내항성능평가결과를 화면을 통해 입력하도록 되어 있으나, 차후에는 계측과 동시에 내항성능평가결과가 자동적으로 컴퓨터 화면에 나타나도록 해야 할 것이다.

'99-04-30-08

NBF 6



(a)

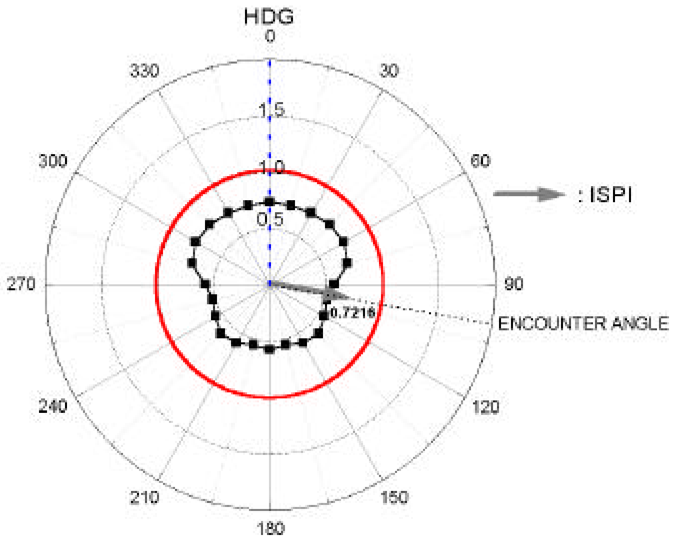


(b)

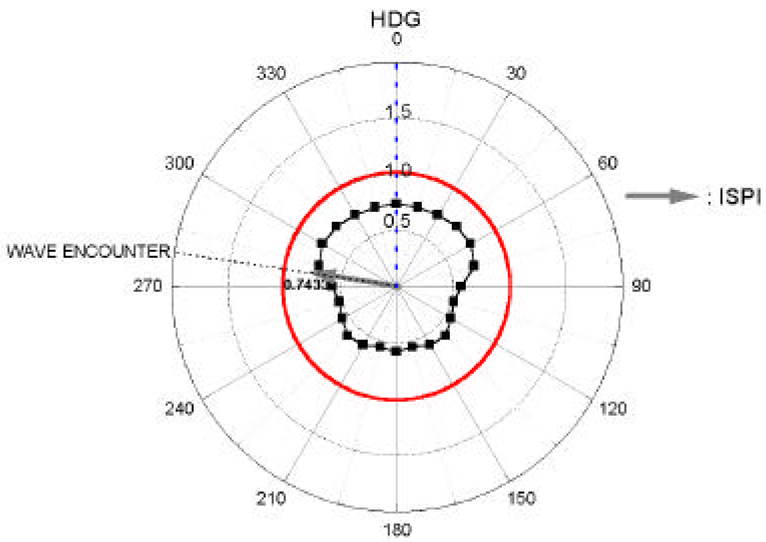
Fig.20 Evaluation Diagram of Navigational Safety in 04-30-08

'99-04-30-16

NBF 6



(a)



(b)

Fig.21 Evaluation Diagram of Navigational Safety in 04-30-16

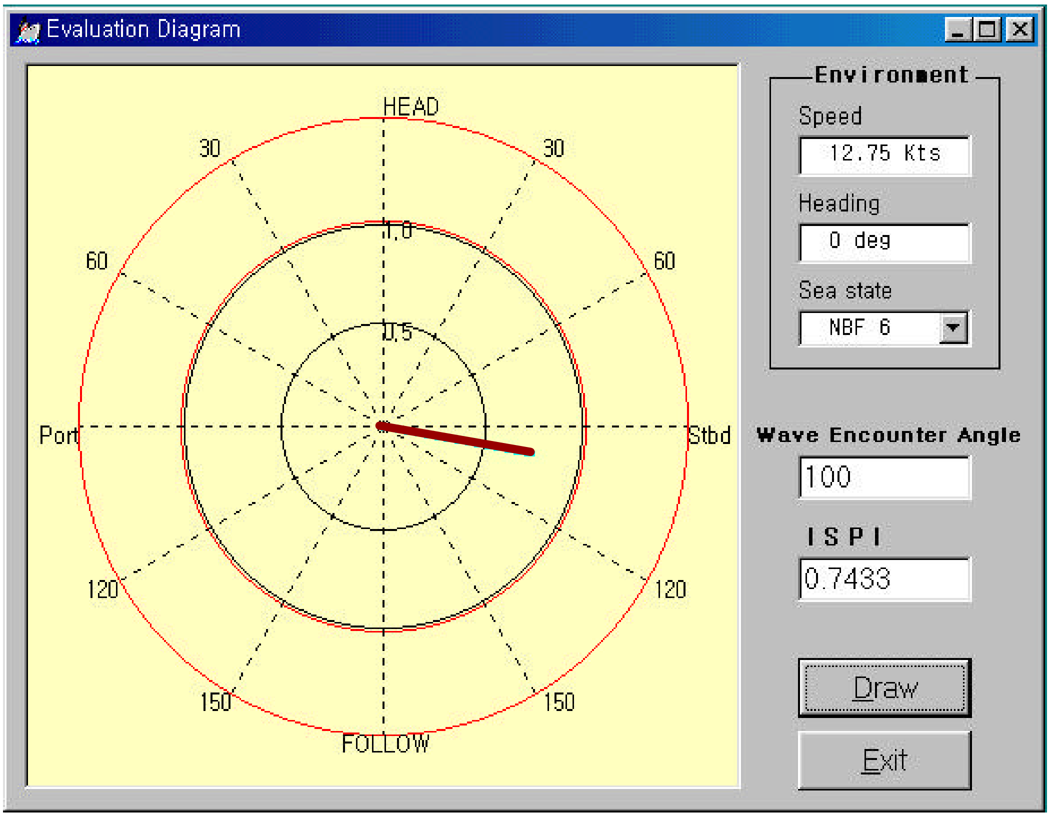


Fig.22 Evaluation Diagram of Navigational Safety by Programming

제 5 장 결 론

본 논문에서는 항해중인 실선에 가속도를 계측할 수 있는 선체 운동 가속도 계측 시스템을 탑재하여 상하 및 좌우가속도를 계측하고, 두 요소 중 계측치의 분산값이 큰 요소를 선택하여 종합내항성능을 평가해 보았다. 이렇게 하여 얻은 본 논문의 연구 결과는 다음과 같다.

1) 그 동안 가상 simulation 및 항해 운항실적만을 가지고 내항성능을 평가해 오던 것을 실제 항해중인 선박에 적용하여 원양항해중 실선 계측을 실시하고, 그 실선계측결과를 토대로 선박 전체의 종합내항성능을 평가하였다.

2) 선박 종합내항성능 평가시 계측된 두 가지 요소를 모두 고려하여 내항성능을 평가함으로써, 임의의 한가지 요소를 계측하여 내항성능을 평가하던 기존의 방법보다 더 안전하게 내항성능을 평가할 수 있게 되었다.

3) 항해 운항실적에 의한 내항성능 평가 결과와 실선계측에 의한 내항성능 평가 결과를 상호 비교하여 실선 적용이 가능함을 보여줌으로써 그 동안의 연구를 실용화시켰다.

4) 항해 안전성 여부를 한눈에 파악할 수 있는 평가도를 program하여 컴퓨터 화면에 화상처리함으로서, 실선계측 수치결과를 계측과 동시에 모니터 화면에 전시할 수 있는 계기를 마련하였다.

향후 과제로서, 본 연구에서는 여객선형인 한나라호만을 대상으로 계측 및 수치계산을 행하였지만, 모든 선박에 실선계측에 의한 내항성능 평가 방법의 적용이 가능하다는 것을 입증하기 위해 여러 종류의 선박에 적용해 봐야 할 것으로 사료된다.

그리고, 선체운동 가속도 계측·해석 시스템의 보완을 통해 실해역에서의 계측된 가속도 변화량을 재생(Replay) 시키고, 더 나아가 재생된 가속도 변화량을 통해 항해 당시의 자연환경 등을 재연시킬 수 있어야 할 것이다.

이렇게 실선계측을 통해 내항성능 평가 결과가 위험하다고 판단되는 경우, 그 위험상태를 벗어나기 위해 운항자가 변침이나 선속저하 등의 조치를 취하고, 위험항로를 검색하여 최적의 항로를 선정할 수 있게 하는 항해정보 평가 시스템을 개발해야 할 것이다. 궁극적으로 최근 IMO(국제해사기구)의 항해안전소위원회에서 거론되고 있는 항해정보기록장치(Voyage Date Recorder)의 주요기록내용에 '실선에서의 가속도 변화량 계측' 항목을 포함시킴으로서 항해 당시의 정확한 운항상태를 파악 및 예측할 수 있는 방법이 요구되는 것이다.

참고문헌

(1) 元良成三 : 船　と海洋構造物の運動學, 成山堂(1992), P50

(2) 山內保文 : 不規則 現象論, 海文堂(1986)

(3) 中村彰一 : 耐航性の諸要素, 第1回 耐航性に 關しるシンポジウム, 日本造船學會 (1969)

(4) 金順甲・內藤 林・中村彰一 : 船舶の波浪中 耐航性能評價に關しる硏究, 日本造船學會論文集, No.155(1984)

(5) 金順甲 : 선박의 파랑중 내항성능 평가에 관한 연구, 한국항해학회지, 제11권, 제1호 (1987)

(6) 金順甲・李忠魯 : 황천시의 항해안전 평가시스템 개발에 관한 연구, 한국항해학회지, 제15권, 제1호,(1990)

(7) Rameswar Bhatacharyya : Dynamic of Marine Vehicles, John Wiley & sons(1978), P.331　P.395

(8) K.S.Miller : Multidimensional Gaussian Distributions, John Wiley and sons (1964), P.36

(9) A.R.J.M. LLOYD : Seakeeping Ship Behaviour in Rough Weather, Ellis Horwood Limited (1989), P337　P.339

(10) 金順甲・金昞辰・李忠魯 : 벌크선의 적화상태에 따른 항해안전성 평가에 관한 연구, 해사산업연구소 논문집 (1993)

(11) 金順甲・孔吉永 : 선박의 항해중 종합내항성능지표에 관한 연구, 한국항해학회지, 제21권, 제2호(1997)

(12) 金順甲・李相旻・李忠魯 : 실시간 기상정보를 이용한 선박의 종합내항성능 평가에 관한 연구, 한국항해학회지, 제22권, 제2호(1998)

(13) 桑島 進 : 船舶の遭遇海象と船 運動の實態, 日本航海學會 第85會講演會にて講演, 平成 3年10月4日, P.153 P.160

(14) 金東一 : 最新電子計測, 螢雪出版社(1990)

(15) 이승건 : 선박운동・조종론, 부산대학교 출판부(1997)

(16) 內藤 林, 中村彰一, 原 正一 : 波浪中における船速低下の推定に關する研究、 日本造船學會論文集, 第146號, P.155 P.166

(17) 關西造船協會編 : 造船設計便覽(第4版), 昭和58年

[부록1]

(예) 'vd20.cfg'

100	: 그래프 가로측 샘플수(갯수)
5	: 파일의 저장 간격(분)
0.0050	: 좌우 가속도의 불감대(g)
0.0050	: 상하 가속도의 불감대(g)
0.0100	: 좌우 가속도의 측정 기준 가속도(g)
- 0.0100	: 상하 가속도의 측정 기준 가속도(g)
D3016	: 시작 디렉토리명
0	: 좌우 가속도의 측정 채널 번호(0..3)
2	: 상하 가속도의 측정 채널 번호(0..3)

[부록2]

작성: 1999**년** 4**월**30**일** **시작시간**: 16**시** 11**분** 53**초** 59

번호	**시작후경과**[sec]	**상하가속도**[g]
1	3.52	0.19820
2	11.43	0.19723
3	15.16	0.00875
4	23.74	0.15230
5	29.23	0.18844
6	34.89	0.18551
7	43.35	0.09469
8	55.22	0.14840
9	63.46	0.12789
10	69.29	0.05953
11	76.10	0.11910
12	81.81	0.06441
13	85.77	0.07516
14	91.54	0.12691
15	98.30	0.11422
16	105.49	0.18355
17	113.30	0.12789
18	121.15	0.06344
19	126.59	0.04586
20	134.01	0.15523
21	139.45	0.04293
22	145.60	0.19820
23	151.87	0.13570
24	157.64	0.19234
25	167.53	0.10445
26	175.60	0.02730
27	181.37	0.08102
28	185.77	0.05953
29	190.60	0.08492
30	196.26	0.08004
31	200.82	0.05270
32	205.60	0.17965
33	210.55	0.08395
34	215.16	0.13277
35	220.93	0.13082

end of file M: 0.11449 V: 0.008451
M2:0.11074 V2:0.01985