

선박탑재용 종합내항성능 평가시스템 개발을 위한 기초적 연구

조 익 순* · 이 충 로** · 김 순 갑***

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

Ik-Soon Cho · Choong-Ro Lee** · Soon-Kap Kim****

Abstract	목 차)
1. 서론	3.2 종합내항성능 평가이론
2. 내항성능 평가요소	4. 실선계측을 통한 선박종합내항성능 평가
2.1 해양파 스펙트럼	4.1 선체운동 가속도 계측·해석 시스템
2.2 내항성능 평가요소	4.2 계측방법
2.3 내항성능 평가요소의 분산치	4.3 실선계측을 통한 선박종합내항성능 평가
3. 종합내항성능 평가이론	4.4 평가도 화상 처리
3.1 내항성능 평가치와 위험도	5. 결 론
	참고문헌

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

* 한국해양대학교 해사수송공학과 박사과정

** 한국해양수산연수원 항해학과 교수

*** 한국해양대학교 운항시스템공학부 교수

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.

1. 서 론

최근에 건조되는 선박은 자동화, 대형화, 지능화 및 고속화되어 가고 있다. 이러한 시점에서 안전성과 신뢰성을 유지하며 항해의 목적을 달성하기 위해서는 선박의 종합 항해 안전도를 정량적으로 판단할 수 있어야 한다. 이러한 항해안전성 평가방법으로 내항성능 평가를 이용한다.

이러한 내항성능 평가방법으로 임의의 대표요소 한가지에 의한 항해 안전성 평가 즉, 상하가속도만을 계측하여 종합적인 내항성능을 평가할 수 있는 평가방법이 개발되었다. 이러한 추세에 따라 본 연구에서는 그러한 평가방법을 실용화하여 실해역을 항해중인 선박에 적용하여 종합내항성능을 평가하고, 항해위험도를 컴퓨터 화면에 화상처리하여 시각적으로 쉽게 항해안전성을 평가할 수 있는 선박 탑재용 종합내항성능 평가시스템을 개발하였다. 또한 이 평가시스템을 이용한 내항성능 평가결과 실선적용이 가능함을 보여주었다.

2. 내 항 성 능 평 가 요 소

2.1 해양파 스펙트럼

본 연구에서는 국제선체구조회의(ISSC)에서 채용한 장파정 해양파 스펙트럼인 P-M(Modified Pierson-Moskowitz)형 스펙트럼을 채택하였으며, 스펙트럼 식은 다음과 같이 표현된다.

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

또한, 실제해상에 가깝게 표현하기 위해 성분파

의 방향 스펙트럼을 고려한 단파정(short crested wave) 불규칙파로서 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$S_{\zeta}(\omega, \theta) = \frac{2}{\pi} S_{\zeta}(\omega) \cos^2 \theta \quad \left(-\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}\right) \\ = 0 \quad \text{(Otherwise)} \\ \dots\dots\dots (2)$$

2.2 내항성능평가요소

불규칙한 해상을 항행하는 선박의 인명, 선체, 화물의 안전을 고려하여 파랑 등의 외력에 대한 선박의 내항성능을 평가하기 위해, 다음과 같은 현상을 내항성능 평가요소로 하고 있다.

- (1) Deck wetness
- (2) Propeller racing
- (3) Slamming
- (4) 횡동요
- (5) F.P.의 상하 가속도
- (6) S.S. 8½의 좌우 가속도

또한, 각 평가요소의 시스템적 결합은 <그림 1>과 같이 직렬결합구조이며, 종합내항성능 평가를 위한 각 요소의 한계치 및 한계발생확률은 <표 1>과 같다.

2.3 내항성능 평가요소의 분산치

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

$$S_{x_i}(\omega_e, \chi) = \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} |H_{x_i}(\omega_e, V, \chi - \theta)|^2 S_{\zeta}(\omega_e, \theta) d\theta \dots\dots\dots (3)$$

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

$$\sigma_{x_i}^2(\chi, V, S) = \int_0^\infty S_{x_i}(\omega_e, \chi) d\omega_e \dots\dots\dots (4)$$

위 식의 분산치를 변화시키는 변수는 선박과 파와의 만남각(χ), 선속(V), 해상상태(S)가 된다. 그리고 임의의 내항성 요소에 대한 확률과정 $X_i(t)$ 는 다음과 같다.

$$X_i(t) = \int_0^\infty \cos(\omega_e t + \psi_i) \sqrt{2S_{x_i}(\omega_e, \chi)} d\omega_e \dots\dots (5)$$

표 1 내항성능평가요소의 한계치와 한계발생확률

내항성능 평가요소	한계치	한계발생확률
Deck wetness	모형시험결과에 의해 해석된, 정수중 항주시의 수위상승을 고려한 F.P.의 유효진현	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.P.에서의 상하가속도가 0.6g를 초과할 경우	10^{-3}

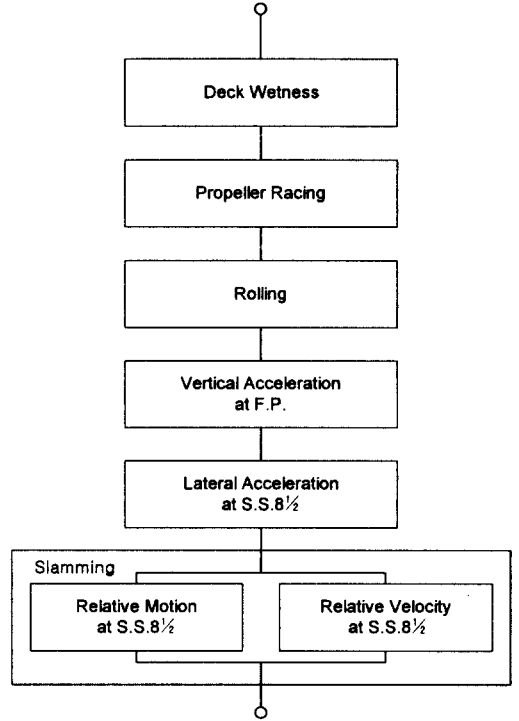


그림 1 내항성능평가요소의 시스템적 결합

3. 종합내항성능평가 이론

3.1 내항성능 평가치와 위험도

3.1.1 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.

$$E_{X_i} = \frac{1}{\sqrt{-2 \ln \{Q(X_i)\}}} = \left[\frac{\sigma_{X_i}}{X_i} \right] \dots\dots\dots (6)$$

3.1.2 위험도

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

$$\mu_{X_i} = \frac{E_{X_i}}{E_{X_k}} = \frac{\left[\frac{\sigma_{X_i}}{X_i} \right]}{\left[\frac{\sigma_{X_k}}{X_i} \right]} = \frac{\sigma_{X_i}}{\sigma_{X_k}} \dots\dots\dots (7)$$

3.1.3 상대위험도

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

$$\mu_{ij} = \frac{\mu_j}{\mu_i} = \frac{\frac{X_i}{\sigma_{X_i}}}{a_{ij} \cdot \left[\frac{X_j}{\sigma_{X_i}} \right]} = \frac{\sigma_{X_k}}{\sigma_{X_i}} \cdot \frac{\sigma_{X_j}}{\sigma_{X_i}} \dots\dots\dots (8)$$

단, a_{ij} 는 i 요소와 j 요소의 한계 평가치의 비이다.

3.2 종합내항성능 평가이론

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 항해 안전성을 종합적으로 평가할 수 있는 종합내항성능지표(ISPI: Integrated Seakeeping Performance Index)가 개발되었다.

3.2.1 종합내항성능 지표의 정의

N 개의 내항성능 평가요소로 구성된 선박 전체 시스템의 변환평가치 \tilde{E}_T 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\tilde{E}_T = \frac{1}{\sqrt{-2 \ln(1 - \tilde{P}_T)}} \dots\dots\dots (9)$$

여기서, $\tilde{P}_T = \prod_{i=1}^N \tilde{P}_i$ 이다.

그리고, 내항성능 신뢰도 함수 \tilde{P}_i 는 다음과 같다

$$\begin{aligned} \tilde{P}_i &= 1 - \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{1}{\tilde{E}_i}\right)^2\right\} \\ &= 1 - \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{\alpha_{\mu i}}{\tilde{E}_i}\right)^2\right\} \dots\dots\dots (10) \\ &= 1 - \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{\alpha_{\mu i} \cdot X_i}{\sigma_i}\right)^2\right\} \\ &= 1 - Q(X_i)^{\alpha_{\mu i}^2} \end{aligned}$$

또한, 선박시스템의 한계평가치 E_{TC} 는 다음과 같다.

$$E_{TC} = \frac{1}{\sqrt{-2 \ln(1 - P_{TC})}} \dots\dots\dots (11)$$

여기서, $P_{TC} = \prod_{i=1}^N P_{ic}$

$$P_{ic} = 1 - \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{X_i}{\sigma_{ic}}\right)^2\right\} = 1 - Q_{X_{ic}} \dots\dots\dots (12)$$

전체 선박시스템의 항해 안전성은 한계평가치 (E_{TC})와 변환 평가치 E_T 의 관계로서 종합내항성능지표 $\tilde{\mu}_T$ 를 계산하여 평가하게 된다.

여기서 $\tilde{\mu}_T$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$\tilde{\mu}_T = \frac{\tilde{E}_T}{E_{TC}} = \sqrt{\frac{\ln(1 - P_{TC})}{\ln(1 - \tilde{P}_T)}} \dots\dots\dots (13)$$

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

3.2.2 임의의 대표적인 요소에 의한 항해 안전성 평가

내항성능평가 요소 중 대표적인 요소 한 가지에 의해 선박 전체의 항해 안전성을 평가 할 수 있다. 즉, 임의의 대표적 요소 X_j 로서 신뢰도함수 \tilde{P}_i 를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \tilde{P}_i &= 1 - \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{\alpha_{\mu i} X_j}{\beta_i \cdot \sigma_i}\right)^2\right\} \\ &= 1 - \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{\alpha_{\mu i} \cdot X_j}{\alpha_{\mu i} \cdot \mu_{\mu i} \cdot \sigma_i}\right)^2\right\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 1 - \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{E_{ic}}{E_{pc}} \cdot \frac{E_{ic}}{E_{ic}} \cdot \frac{X_j}{\mu_{ji}\sigma_j}\right)^2\right\} \\
 &= 1 - \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{\sigma_{ij}}{\mu_{ji}} \cdot \frac{X_j}{\sigma_j}\right)^2\right\} \quad \dots (9) \\
 &= 1 - Q(X_j) \left(\frac{\sigma_{ij}}{\mu_{ji}}\right)
 \end{aligned}$$

4. 실선계측을 통한 선박 종합내항성능 평가

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.

가속도 계측·해석 시스템의 기본적인 Flow Chart는 <그림 2>와 같으며, 실험장치를 실선의 선교의 장치한 상황은 <그림 3>에 제시한다.

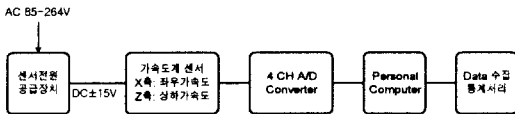


그림 2 가속도 계측·해석 시스템의 흐름도

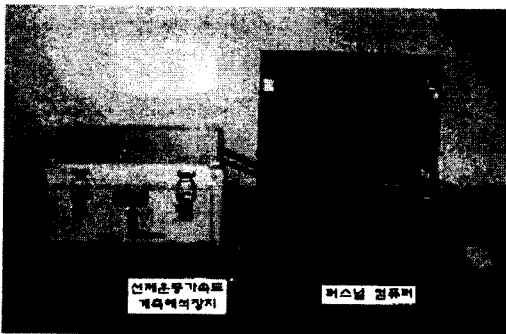


그림 3 실험장치의 설치 상황

4.2 계측 방법

본 연구의 실선계측 대상선은 실습선 ‘한나라호’

이며, 계측장소는 한나라호의 학생 브릿지이다. 설치시 선수방향은 선체중심선상에, 좌우방향은 선체중심선과 수직이 되도록 설치하였다. 선체운동의 계측이라는 관점에서, 정확한 계측을 행하기 위해서이다. 계측은 한나라호의 ‘99-1차 원양항해(‘99년 4월 20일~5월 11일) 기간 및 ‘99-2차 원양항해(‘99년 10월 2일~10월 26일)중 실시하였으며, 매 4시간 당직중 교대시간을 기준으로 약 30분~1시간 계측을 행하였다.

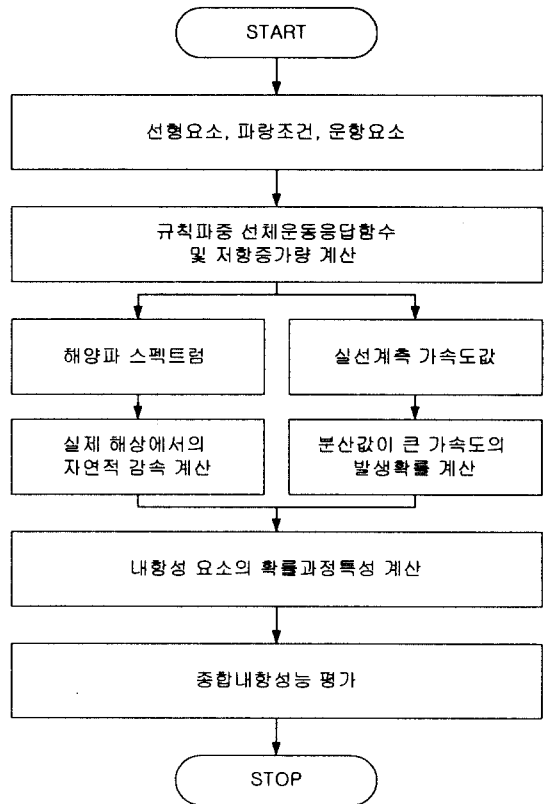


그림 4 실선계측에 의한 선박종합내항성능 평가 시스템의 구성

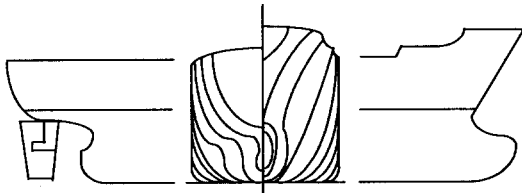
4.3 실선계측을 통한 선박 종합내항성능 평가

내항성능지표($\hat{\mu}_T$)는 내항성능 평가요소중 한 개 요소만을 계측하여, 선박 전체의 항해안전성을 평가할 수 있는 지표이다. 따라서, 내항성능 평가

요소 중 선박운항자들이 감각적인 면에서 정량화된 평가요소로 채택하기 쉬운 상하 및 좌우 가속도를 계측하여, 그 중 발생확률이 큰 한 개의 요소만을 채택하여 종합내항성능을 평가한다. 실선계측을 통한 선박 종합내항성능 평가 시스템의 구성은 <그림 4>와 같다.

4.3.1 수치계산의 조건

본 연구에서 수치 계산에 사용한 선형은 $L_{pp}=93m$ 의 실습선 'HANNARA'로서 그 선도와 주요목은 <그림 5>에 나타내고 있다. 해상상태는 WMO의 CODE 1100을 이용하였다.



ITEMS		DIMENSION
Length P.P	L_{pp} (m)	93
Breadth	B (m)	14.5
Depth	D (m)	7
Mean Draft	dm (m)	5.115
Displacement Volume	(m^3)	4,274.82
Block Coefficient	C_b	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

그림 5 T/S 한나라호의 선도 및 주요목

4.3.3 수치계산 결과

본 실험장치는 항해중 실선계측을 통해 선체의 상하 및 좌우가속도 값을 얻을 수 있다. 그러나, 본 연구에서는 두 값 중 하나의 가속도 값만을 대입하여 내항성능 평가를 하게 되는데, 계측된 두 요소 중 계측치의 분산값이 큰 요소의 발생확률을 구해 종합내항성능을 평가하는 것이다. 즉, 한가지 요소만으로 내항성능을 평가했을 때는 그 당시의 자연

환경에 따라 실제의 위험도보다 과소 평가되는 경우가 발생할 수 있기 때문이다.(그림 6)

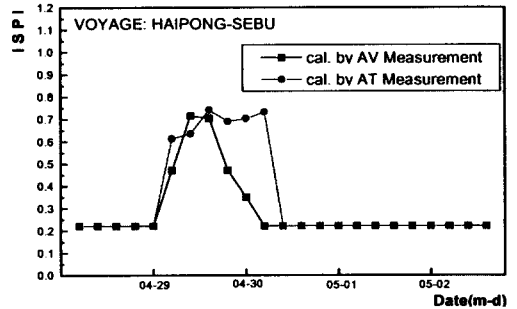


그림 6 실선계측에 의한 종합내항성능지표 비교

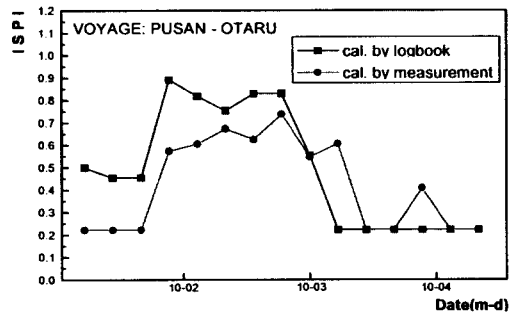


그림 7 종합내항성능지표 비교

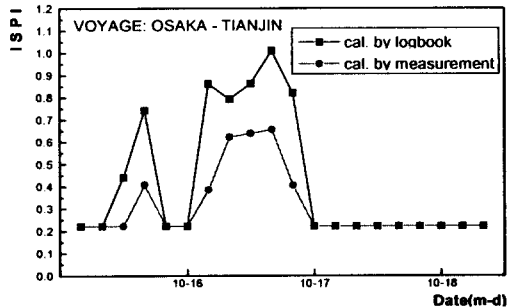


그림 8 종합내항성능지표 비교

내항성능 평가결과 기간중 대상선의 내항성능지표는 실선계측 및 운항실적에 의한 평가결과 모두 1보다 작았기 때문에 안전했었다고 판단이 된다. (그림 7~8)

그러나, 운항실적에 의한 수치계산 결과와 실선 계측에 의한 평가결과가 다소 상이하게 나타나는 것을 알 수 있다. 예를 들어, 항해사의 해상상태에 대한 목시관측이 실제보다 과장되어 기록된 것으로 사료되는 경우이다. 즉, 운항실적에 의한 수치계산 결과가 실선계측에 의한 결과보다 큰 경우의 해상상태를 한 단계 낮추어, '99-2차 원양항해중 'OSAKA- TIANJIN' 구역에서 수치계산을 했을 때의 두 결과치가 거의 일치하는 것을 알 수 있다.(그림 9)

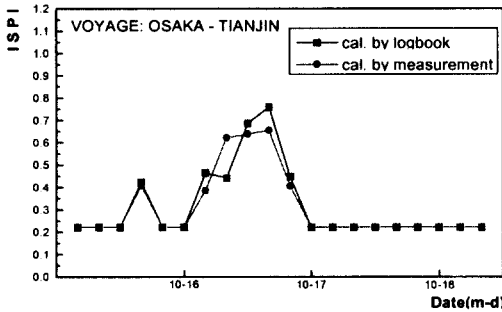


그림 9 로그북상 해상상태 낮춤에 의한 종합내항성능지표 비교

위와 같이 두 개의 수치계산결과가 다소 상이하게 평가되기도 하지만, 대체적으로 내항성능 평가 결과의 경향은 유사함을 알 수 있다.

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

4.4 평가도 화상처리

<그림 10>은 실선계측을 통해 구한 내항성능지표(μ_T)를 이용하여 항해안전성을 나타낸 평가도이다. 이런 평가도를 이용하여 그 당시의 항해위험도를 시각적으로 쉽게 판정할 수 있다.

이러한 평가도를 'Visual Basic 6.0' 프로그램을 이용하여 컴퓨터 화면에 화상처리해 보았다.(그림 11) 그림에서 내항성능 지표가 한계치인 $\mu_T=1$ 의

원을 초과할 때, 이 선박은 위험하게 된다.

'99-04-30-16
NBF 6

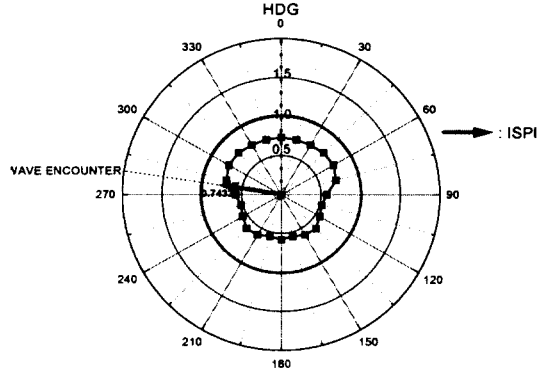


그림 10 항해 안전 평가도('99-04-30-16)

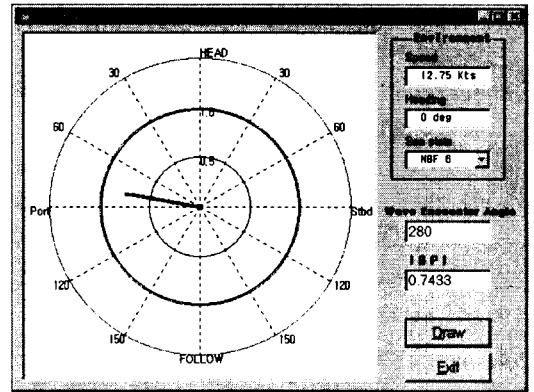


그림 11 항해 안전 평가도 화상처리

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.

5. 결 론

항해중인 실선에 가속도를 계측할 수 있는 선체 운동 가속도 계측 시스템을 탑재하여 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 원양항해 중 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 화상 처리함으로써, 실선계측 수치결과를 계측과 동시에 모니터 화면에 전시할 수 있는 계기를 마련하였다.

향후 과제로서, 본 연구에서는 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.

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 평가시스템을 개발해야 할 것이다. 궁극적으로 최근 IMO(국제해사기구)의 항해안전소위위원회에서 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.

참 고 문 헌

- (1) 元良成三 : 船体と海洋構造物の運動學, 成山堂(1992), p.50
- (2) 山内保文 : 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 耐航性に關するシンポジウム, 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する研究, 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 Bhattacharyya : Dynamic of Marine Vehicles, John Wiley & sons (1978), pp.331~395
- (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), pp.337~339
- (10) 金順甲·金炳辰·李忠魯 : 벌크선의 적화상태에 따른 항해안전성 평가에 관한 연구, 해사산업연구소 논문집 (1994)
- (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体運動の實態,

日本航海學會 第85會講演會にて講演, 平成 3
年10月4日, pp.153~160

- (14) 内藤 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, pp.155~166

- (15) 關西造船協會編 : 造船設計便覽(第4版), 昭和
58年