實時間 氣象情報를 利用한 船舶의 綜合耐航性能 評價에 관한 硏究

김 순 갑* · 이 상 민** · 이 충 로***

A Study on the Evaluation of Synthetic Seakeeping Performance of a Ship Using Real Time Weather Data

*Soon-Kap Kim** · *Sang-Min Lee*** · *Choong-Ro Lee****

〈목 차〉

Abstract
1. 서 론
2. 풍파중의 자연적감속
 2.1 풍파중의 선체저항
 2.2 자연적감속의 계산
3. 종합내항성능 평가이론
 3.1 내항성능평가요소 및 분산치
 3.2 내항성능평가치와 위험도
 3.3 종합내항성능 지표
4. 실시간 기상정보를 이용한 자연적 감속 및 선박의 종합내항성능평가 계산분석
 4.1 선박 종합내항성능평가 시스템
 4.2 기상정보를 이용한 수치계산
 4.3 수치계산 결과
 4.4 종합내항성능평가 분석
5. 결 론
참고문헌

Abstract

There is a limitation for a ship which is sailing on sea to gather weather and seastate informations. To make up for this weakness, land organizations can gather wider variety of information and evaluate the seakeeping performance on ship. And supply this information to the ship.

In this study, calculated the response amplitude of ship motions with the weather information provided in real time, the nominal speed loss with obtaining increase of resistance caused by wave and stochastic process of the seakeeping performance elements. And the results have been achieved to develop a system which can evaluate the synthetic seakeeping performance.

Using this system, the results have been studied to determine the feasibility of using this simulation in actual operation onboard ship.

* 한국해양대학교 해사수송과학부 교수
** 한국해양대학교 해사수송과학과 박사과정
*** 해기연수원 항해학과 교수

1. 서 론

대양을 항행중인 선박에 있어서 기상·해상정보의 수집에는 어느 정도 한계가 있다. 이러한 점을 보완하기 위해 육상부서에서는 보다 많고 다양한 정보를 수집하여 현재 항행중인 선박에 대한 내항성능을 평가하여 안전 항해 및 최적항로를 선정함으로서 선박의 운항자동화 시스템의 구축에 기여할 수 있다. 이러한 추세에 맞추어 본 연구에서는 실시간으로 제공되는 기상정보를 이용하여 그 당시의 선체운동 응답함수를 계산하고, 또한 풍파에 의한 저항증가를 구하여 자연적 감속을 계산하며, 내항성능 요소의 확률과정을 계산하여 종합내항성능 평가를 할 수 있는 시스템의 개발을 위한 연구를 수행하였다. 또한 이 시스템을 이용하여 실제 운항실적을 지닌 대상선박에 대한 수치계산을 하여 상호 비교·검토하였으며, 이 결과로서 실선에서의 이 시스템의 적용 가능성에 대하여 연구하였다.

2. 풍파중의 자연적 감속

2.1 풍파중의 선체저항

규칙파와 바람의 영향을 받는 항행중인 선박에 미치는 저항은, 정수중에서의 선체 전 저항, 파랑 및 선체 동요에 의한 저항증가, 바람에 의한 공기저항증가와 그밖의 원인에 의한 저항증가로 구성되며, 다음식으로 표현할 수 있다.[1]

$$R = R_O + R_{AW} + R_{AA} + R_{AE} \quad \cdots\cdots (1)$$

여기서, R : 전저항
R_O : 정수중 선체 전 저항
R_{AW} : 파랑 및 선체 동요에 의한 저항증가
R_{AA} : 바람에 의한 공기저항증가
R_{AE} : 기타 원인에 의한 저항증가

2.1.1 정수중 선체 전 저항

정수중 선체 전 저항 R_O는 다음과 같이 표현된다.[2]

$$R_O = C_T \frac{1}{2} \rho S V^2 \quad \cdots\cdots (2)$$

2.1.2 파랑에 의한 저항증가

파랑 및 선체동요에 의한 저항의 증가는 다음 식으로 표현된다.[1]

$$R_{AW} = R_{AW(0)} + R_{AW(1)} \quad \cdots\cdots (3)$$

여기서, $R_{AW(0)}$: 선체 운동에 기인하는 저항 증가
$R_{AW(1)}$: 선수부로 부터의 반사파에 기인하는 저항 증가

$R_{AW(0)}$는 Gerritsma, Beukelman에 의한 근사식을 사용하였고, 다음과 같이 표현된다.[1]

$$R_{AW(0)} = \frac{k}{2\omega_e} \int (N - \rho U \frac{\partial S}{\partial x}) V_{ra}^2 \, dx \quad \cdots\cdots (4)$$

그리고 $R_{AW(1)}$은 Blunt bow 선수로 부터의 반사파에 기인한 저항증가이고, Hujii, Takahashi에 의하여 다음과 같은 근사식으로 표현된다.[1]

$$R_{AW(1)} = \alpha_1 (1 + \alpha_2) \frac{1}{2} \rho g h_A^2 B \overline{\sin^2 \beta} \quad \cdots\cdots (5)$$

2.1.3 바람에 의한 공기저항증가

R_{AA}는 바람에 의한 공기저항증가로서 다음과 같이 표현된다.[3]

$$R_{AA} = \frac{1}{2} \rho_a A_T U_R^2 C_{XT}(\mu) \quad \cdots\cdots (6)$$

2.2 자연적 감속의 계산

파랑중에서는 선체가 받는 저항이 증가하기 때문에 주기관 출력 혹은 회전수를 일정하게 유지하는 경우에 선속이 정수중보다 저하하게 된다. 선속의 저하량에는 파랑중의 저항증가특성, 프로펠러특성, 주기출력특성 등이 깊은 관계가 있다.

Nakamura, Naito는 이러한 특성들을 모두 포함시켜 파랑중의 선속저하 ΔV와 회전수 변화량 ΔN_P를 같이 나타내었다.[4]

$$\Delta V=\frac{R_{AWT}(V,\chi)}{(1-t)(1-w)(P_{TU}+\frac{P_{TN}\cdot P_{QU}}{r^2\eta_i\eta_R E_{QN}-P_{QN}})-\left\{[\frac{\partial R_O}{\partial V}]+[\frac{\partial R_{AWT}}{\partial V}]\right\}} \quad \cdots\cdots(7)$$

$$\Delta N_P=\frac{(1-w)P_{QU}\,R_{AWT}(V,\chi)}{(1-t)(1-w)\{P_{TN}P_{QU}+P_{TU}(r^2\eta_i\eta_R E_{QN}-P_{QN})\}-(r^2\eta_i\eta_R E_{QN}-P_{QN})\left\{[\frac{\partial R_0}{\partial V}]+[\frac{\partial R_{AWT}}{\partial V}]\right\}} \quad \cdots(8)$$

3. 종합 내항성능평가 이론

3.1 내항성능 평가요소 및 분산치

불규칙한 각종 외력의 영향을 받고 있는 해상에서 인명, 선체, 화물의 안전을 고려하여 파랑 등의 외력에 대한 선박의 내항성능을 평가하기 위하여 선체운동으로부터 생기는 다음과 같은 현상을 내항성능 평가요소로 하고 있다.[5]

(1) Deckwetness
(2) Propeller racing
(3) Slamming
(4) 횡동요
(5) F.P. 의 상하 가속도
(6) S.S 81/2 의 좌우 가속도

3.1.1 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.[6]

$$S_{x_i}(\omega_e,\chi)=\int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}}|H_{x_i}(\omega_e,V,\chi-\theta)|^2 S_\zeta(\omega_e,\theta)d\theta \quad \cdots\cdots(9)$$

또한 분산치 $\sigma_{x_i}^2$ 는 다음과 같다.

$$\sigma_{x_i}^2(\chi,V,S)=\int_0^\infty S_{x_i}(\omega_e,\chi)d\omega_e \quad \cdots\cdots(10)$$

3.2 내항성능 평가치와 위험도

3.2.1 내항성능 요소의 평가치

임의 내항성 요소의 극치분포는 Rayleigh 분포로서, 그 발생확률을 $Q(\overline{X_i})$ 라고 한다. 이 경우, 표준편차로서 무차원화한 한계치의 역수를 X_i 요소의 평가치 E_{X_i} 라 정의한다.[7]

$$E_{X_i}=\frac{1}{\sqrt{-2\ln\{Q(\overline{X_i})\}}}=\left[\frac{\sigma_{X_i}}{\overline{X_i}}\right] \quad \cdots\cdots(11)$$

3.2.2 내항성능 요소의 위험도

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

$$\mu_{X_i}=\frac{E_{X_i}}{E_{X_\kappa}}=\frac{\{\overline{X_i}/\sigma_{X_\kappa}\}}{\{\overline{X_i}/\sigma_{X_i}\}}=\frac{\sigma_{X_i}}{\sigma_{X_\kappa}} \quad \cdots\cdots(12)$$

3.2.3 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.

$$\mu_{ij}=\frac{\mu_j}{\mu_i}=\frac{\frac{X_i}{\sigma_{X_i}}}{\alpha_{ij}\left[\frac{X_j}{\sigma_{X_j}}\right]}=\frac{\sigma_{X_\kappa}}{\sigma_{X_\kappa}}\cdot\frac{\sigma_{X_j}}{\sigma_{X_i}} \quad \cdots\cdots(13)$$

$$\text{단, } \alpha_{ij}=\frac{E_{X_k}}{E_{X_c}}=\frac{\left[\frac{X_{ic}}{\sigma_{X_k}}\right]}{\left[\frac{X_{jc}}{\sigma_{X_k}}\right]}$$

3.3 종합내항성능지표

기존의 각 내항성능 평가요소에 한계발생확률이 주어져 있는 것은 동일한 위험도를 가지는 요소는 위험하게 되는 정도가 같다는 것을 의미한다. 그래서 각 내항성능 평가요소의 위험도가 같은 경우, 그 발생확률도 같다는 것으로 변환하여 계산하는 것으로 선박시스템 전체의 항행 안전성을 평가할 수 있는 종합내항성능지표(ISPI ; Integrated Seakeeping Performance Index)가 개발되었다. 이 ISPI에 의해 임의의 대표적인 요소만으로 선박 전체의 항행안전성을 평가할 수 있다.[8]

3.3.1 내항성능 평가 요소의 변환평가치

내항성능 평가 요소의 발생확률이 다르게 설정되어 있는 것을 보완하기 위해 변환평가치를 도입했다. 임의 요소의 평가치 E_i 에 대한 변환평가치 $\tilde{E}_i$ 를 다음과 같이 나타낸다.

$$\tilde{E}_i=\frac{E_i}{\alpha_{pi}}=\frac{E_{pc}}{E_{ic}}\cdot E_i=\mu_i\cdot E_{pc} \quad \cdots\cdots (14)$$

3.3.2 종합내항성능 지표의 정의

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

$$\tilde{E}_T=\frac{1}{\sqrt{-2\ln(1-\tilde{P}_T)}} \quad \cdots\cdots (15)$$

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

그리고, 내항성능 신뢰도 함수 $\tilde{P}_i$ 는 다음과 같다.

$$\tilde{P}_i=1-\exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{1}{\tilde{E}_i}\right)^2\right\} \quad \cdots\cdots (16)$$

$$=1-\exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{\alpha_{pi}}{E_i}\right)^2\right\}$$

$$=1-\exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{\alpha_{pi}\cdot X_i}{\sigma_i}\right)\right\}$$

$$=1-Q(X_i)^{\alpha_{pi}^2}$$

또한, 선박시스템의 한계평가치 E_{TC} 는 다음과 같다.

$$E_{TC}=\frac{1}{\sqrt{-2\ln(1-P_{TC})}} \quad \cdots\cdots (17)$$

여기서, $P_{TC}=\prod_{i=1}^{N}P_{ic}$

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

전체 선박시스템의 항행 안전성은 한계평가치 (E_{TC})와 변환 평가치 $\tilde{E}_T$ 의 관계로서 종합내항성능지표 μT를 계산하여 평가하게 된다.

여기서 μT는 다음과 같이 정의된다.[8]

$$\mu_T=\frac{\tilde{E}_T}{E_{TC}}=\sqrt{\frac{\ln(1-P_{TC})}{\ln(1-\tilde{P}_T)}} \quad \cdots\cdots (18)$$

그리고 $\mu_T\geq 1.0$ 인 경우에는 선박시스템 전체가 위험하고 $\mu_T<1.0$ 인 경우에는 안전한 것으로 평가할 수 있다.

3.3.3 임의의 대표적인 요소에 의한 항행 안전성평가

내항성능평가 요소중 대표적인 요소 한 가지에 의해 선박 전체의 항행 안전성을 평가 할 수 있다. 즉, 임의의 대표적 요소 X_j로서 신뢰도함수 $\tilde{P}_i$ 를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\tilde{P}_i=1-\exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{\alpha_{pi}X_j}{\beta_i\sigma_j}\right)^2\right\}$$

$$=1-\exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{\alpha_{pi}X_j}{\alpha_{ji}\mu_{ji}\sigma_j}\right)^2\right\} \quad \cdots\cdots (19)$$

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

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

$$= 1 - Q(X_j)^{\left(\frac{\alpha_{ji}}{\mu_{ji}}\right)^2}$$

4. 실시간 기상정보를 이용한 자연적감속 및 선박의 종합 내항성능평가 계산분석

4.1 선박 종합내항성능평가 시스템

실시간 기상정보에 의한 선박의 종합내항성능평가 시스템의 구성은 Fig.1과 같다. 이 시스템에서 입력 데이타로서 선형요소, 파랑조건, 운항조건 및 실시간 기상정보가 필요하다. 이와 같은 입력 데이타에 의해 본 시스템은 실제 해상에서의 선속 저하량 및 각 내항성능평가 요소의 확률과정 특성이 계산되고 최종적으로 ISPI(종합내항성능지표)에 의한 선박의 항행안전성능을 평가하게 된다.

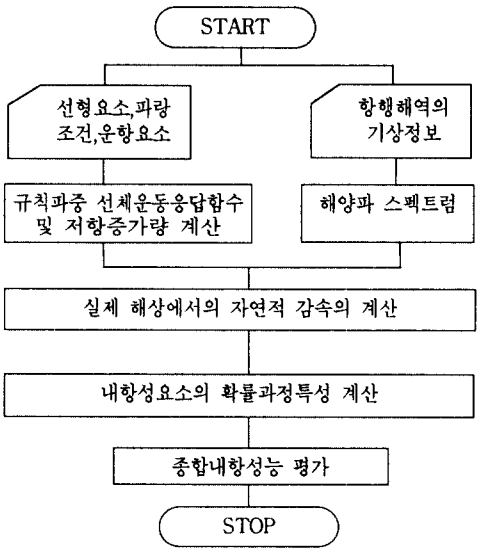

Fig. 1 기상정보에 의한 선박종합내항성능 평가 시스템의 구성

4.2 기상정보를 이용한 수치계산

4.2.1 수치계산 조건

본 연구에서 수치계산에 사용한 선형은 Lpp 93m의 여객선형인 'HANARA'호이며, 해상상태는 WMO의 CODE 1100을 이용하였다. 수치계산에 사용된 기준 선속(Vs)은 대상선박의 service speed로서 Fn 0.273 (16.0kts)을 사용하였다. 종합내항성능평가를 위한 각 내항성능요소의 한계치 및 한계발생확률은 Table 1과 같이 채택하였다.

4.2.2 수치계산의 평가방법

기상정보를 이용한 수치계산을 하기 위해 먼저

Table 1. 내항성능평가요소의 한계치와 한계발생확률

내항성능 평가요소	한 계 치	한계발생확률
Deck wetness	정수중 항주시의 수위상승을 고려한 F.P.의 유효건현[9]	2×10^{-2}
Propeller racing	정수중 항주시의 수위상승을 고려한 Propeller상단 노출[9]	10^{-1}
Slamming	S.S. 81/2에서 선저 노출과 동시에 파에 돌입할 때 선저의 파면에 대한 상대속도가 Threshold velocity를 초과하는 것[9] 단, Threshold velocity=$0.09\sqrt{gl}$	10^{-2}
횡동요	선체중앙부 weather side의 bulwark top에 해수가 유입하는 것을 한계상태로 하여 정수중 홀수면에서 bulwark top까지의 높이[9]	10^{-3}
좌우가속도	S.S 8 1/2 에서의 좌우가속도가 0.6g를 초과할경우[10]	10^{-3}
상하가속도	F.P에서의 상하가속도가 0.6g를 초과할 경우[10]	10^{-3}

기상정보를 2가지로 분류하였다. 첫 번째 방법을 위해 본선의 운항실적을 토대로 하여 실제 항행중 관측되어 기록되었던 기상정보를 이용하였고, 두 번째 방법을 위해 실시간으로 제공되는 Internet의 기상정보를 저장하여 본 수치계산에 사용하였다. 수치계산은 1997년 5월31일부터 6월27일 까지 대상 선박의 운항결과를 모델로 하였으며, 2가지 방법에 의해 계산된 자연적 감속량과 RPM저하량을 실제 운항실적과 비교하였다.(Fig.2~Fig.9)

4.2.3 실측된 기상정보에 의한 수치계산

실측된 기상정보는 실선에서 실제 항행중 기상상태를 측정하여 기록한 운항실적을 이용하였는데, 본 수치계산 결과와 실제 선박에서 풍파에 의한 자연적 감속은 평균 (+)0.08kts의 차이가 있으며, RPM저하는 평균 (-)2.155RPM의 차이가 발생한 것을 알 수 있다. 즉, 본선에서 관측된 기상정보를 이용하여 본 시스템을 실행하면 실제 해상에서의 본선의 선속저하 등을 정확히 파악할 수 있고, 이 결과로서 본선의 운항계획을 설정하는데 큰 도움이 되리라 본다.

4.2.4 실시간 제공된 기상정보에 의한 수치계산

Internet의 기상정보를 이용한 수치계산 결과와 실제 선박에서 풍파에 의한 자연적 감속은 평균 (-)0.052kts의 차이가 있으며, RPM저하는 평균 (+)0.386RPM의 차이가 발생하는 것을 알 수 있다. 그리고 Fig.10과 Fig.11에 Internet 기상정보를 토대로 하여 수치계산한 ISPI를 표시하고 있다. Fig.11의 Diagram은 운항자의 식별을 용이하게 실제 레이더 화면과 유사한 방법으로 진북을 위쪽으로 둔 그림이다.

4.3 수치계산 결과

각각의 선속별 · 해상상태별 · 만남각별 ISPI를 비교해 보면(Fig.12~Fig.13) 해상상태 7에서는 Fn 0.204(11.98kts)일 경우 안전하게 평가되지만 선속이 증가할수록 선수파(Head sea)쪽과 χ=60° 방향이 위험하게 된다. 또한 각 선속에 상관없이 만남각이 추파(Following sea) 보다는 선수파쪽이 위험도가 큰 것으로 나타나고 있다.

그리고 해상상태 7과 8에서의 ISPI와 각 내항성 요소의 위험도를 비교해 보면(Fig.14~Fig.15), 만남각이 60° 부근에서는 좌우가속도(AT)와 횡동요(L)성분이 높게 계산되며, 선수파쪽에서는 상하가속도(AV)성분이 가장 높게 계산되고 있음을 알 수 있다.

4.4 종합내항성능 평가분석

이상과 같은 수치계산을 시행한 후 종합적인 결과를 분석해 보면 다음과 같다.

1) 동일한 해상상태에서는 선속이 증가할 수록 ISPI가 커지는, 즉 위험도가 커지는 경향을 보여주고 있다.
2) χ가 90° 와 0° 일 때, 즉 파를 정횡쪽과 선미쪽으로부터 받을 때 다른 만남 각에 비하여 상대적으로 위험도가 낮아지는 것을 파악할 수 있었다. 그리고, χ=60° 일 때 위험도가 상당히 크게 평가되는 것을 알 수 있었다.
3) 자연적 감속에 대한 분포를 분석해 본 결과 선수로부터 파를 받을때(χ=180°) 감속량이 가장 크며, 횡파를 받을때(χ=90°)는 다른 각도보다 비교적 적게 선속이 저하되는 것으로 분석되었다.

5. 결 론

실시간 기상정보를 이용하여 자연적 감속의 계산과 선박의 종합내항성능 평가를 실행한 본 연구의 결과는 다음과 같다.

1) 기존에 각기 계산되어 오던 선체운동, 저항증가, 내항성능 요소의 확률과정 계산을 모두 포함시킨 선박운항자동화를 위한 선박 종합내항성능 평가 시스템을 구축하였다.
2) 실시간 기상정보를 이용하여 항행중인 선박에 대해 그 시점에서의 자연적 감속 및 종합내항성능 평가를 실행할 수 있게 되었다.
3) 가상적인 Simulation만을 수행해 오던 자연적 감속의 계산 및 종합내항성능 평가를 대상선

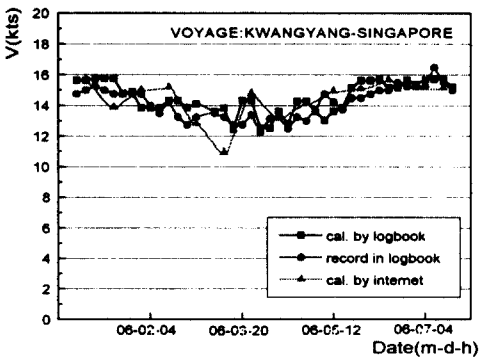

Fig. 2 Comparison of nominal speed loss

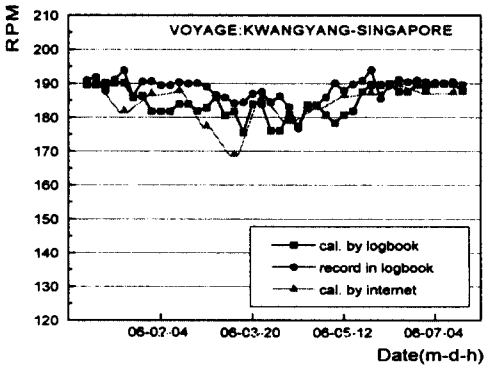

Fig. 3 Comparison of nominal RPM down

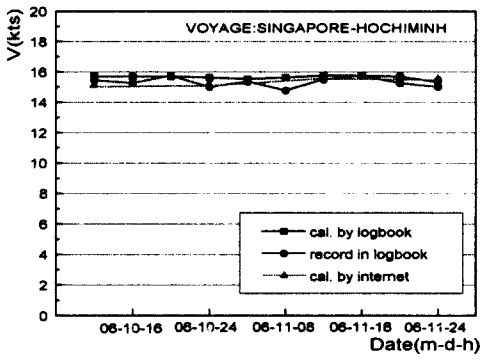

Fig. 4 Comparison of nominal speed loss

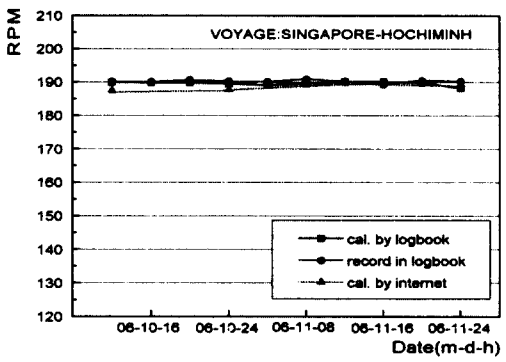

Fig. 5 Comparison of nominal RPM down

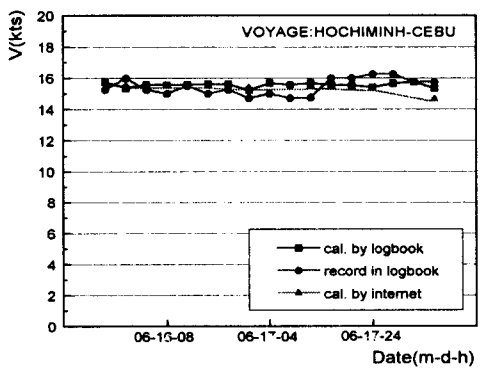

Fig .6 Comparison of nominal speed loss

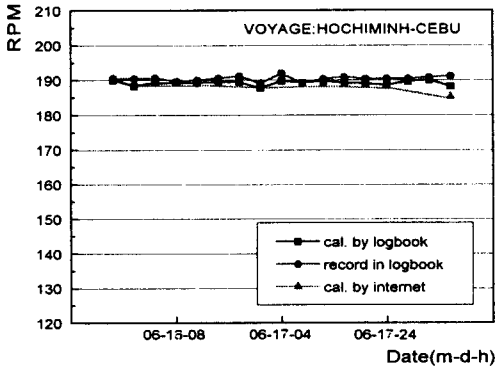

Fig. 7 Comparison of nominal RPM down

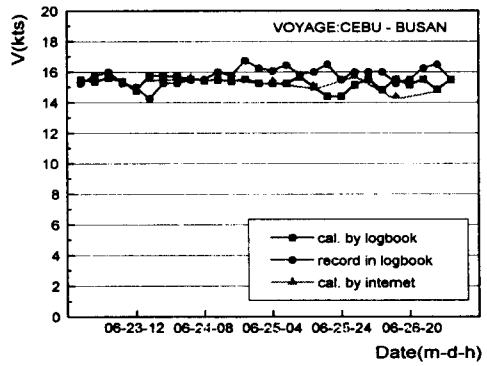

Fig. 8 Comparison of nominal speed loss

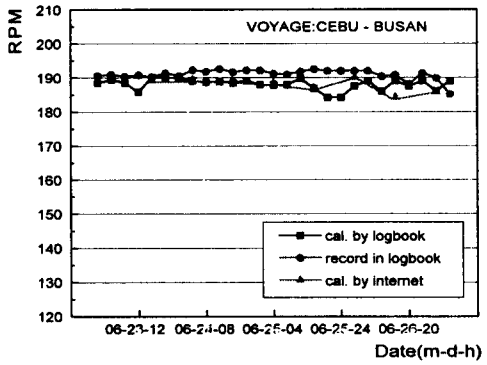

Fig. 9 Comparison of nominal RPM down

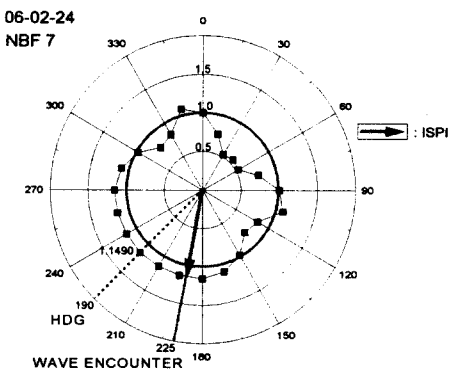

Fig.10 Evaluation diagram in 06-02-24(a)

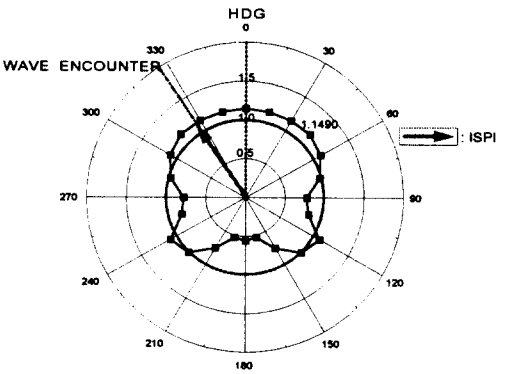

Fig.11 Evaluation diagram in 06-02-24(b)

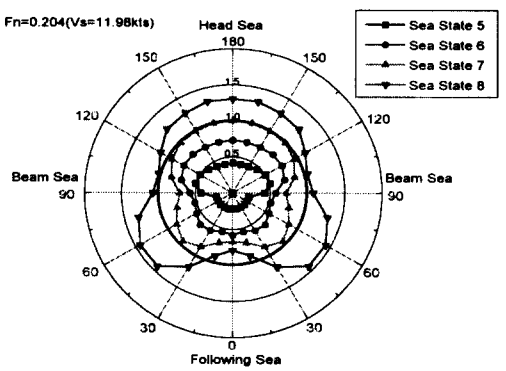

Fig.12 Evaluation diagram of ISPI (Fn 0.204)

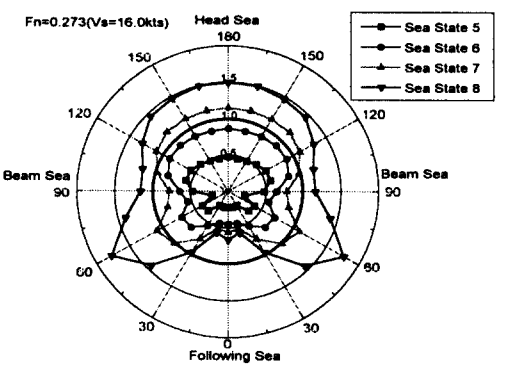

Fig.13 Evaluation diagram of ISPI (Fn 0.273)

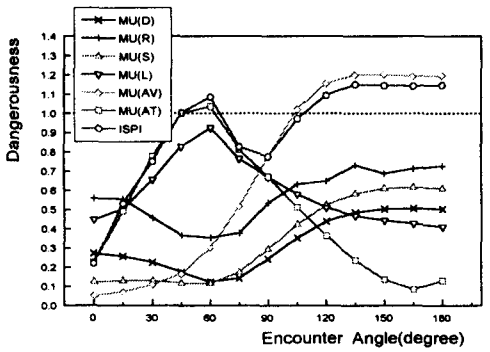

Fig.14 Dangerousness of seakeeping factors and ISPI at NBF 7

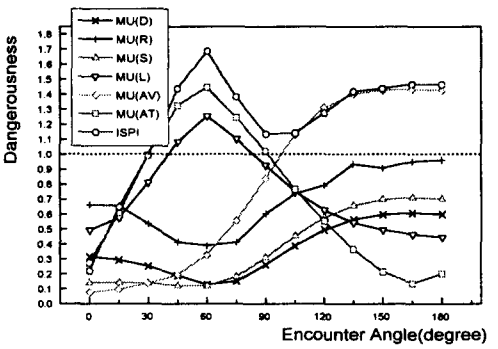

Fig.15 Dangerousness of seakeeping factors and ISPI at NBF 8

박의 실제 항해한 운항실적을 이용하여 비교함으로써 본 시스템의 실용화를 검토하였다.

4) 실제 운항 실적과의 비교 결과 본선에서 실측된 기상정보와 Internet의 실시간 기상정보에 의한 수치결과는 거의 일치하고 있음을 알 수 있다.

그러므로, 본 시스템을 각종 실시간 기상정보를 이용하여 실행시키면 선박의 안전항로와 최적항로의 선정에 이용 가능할 것으로 여겨진다.

참고문헌

(1) 新谷厚, 內藤 林 : 波浪中の馬力增加, 第2回 耐航性能に關しるシンポジウム, 日本造船學會 (1977), P.165~P.180

(2) E.V.Lewis : Principles of Naval Architecture (II), SNAME(1989), P.7~P.30

(3) 中村彰一 : 風波および操舵による馬力增加, 肥大船の推進性能に關しるシンポジウム, 日本造船學會(1975)

(4) 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

(5) 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), P.121~P.141

(6) 金順甲·李忠魯 : 황천시의 항해안전 평가시스템 개발에 관한 연구, 한국 항해학회지, 제15권, 제1호,(1990)

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

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

(9) 日本造船研究協會,第125研究部會 : 超高速コンテナ船の耐航性に關する報告書,研究資料 No.211(1975), P.3~P.31

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