

## 선박의 종합내항성능 평가정보제공시스템 개발에 관한 연구

- 불규칙파중에서의 실시간 내항성능 평가 -

김 순 갑\* · 이 충 로\*\* · 공 길 영\*

A Study on Development of the Information Service System of Integrated  
Seakeeping Performance for Seagoing Vessels  
- Real Time Seakeeping Evaluation in Irregular Waves -

*Soon-Kap Kim\* · Choong-Ro Lee\*\* · Gil-Young Kong\**

〈목 차〉	
Abstract	4. 수치계산
1. 서 론	5. 결 론
2. 실시간 내항성능 평가정보제공시스템	참고문헌
3. 실시간 내항성능 평가	

### Abstract

This study aims to develop the information service system of integrated seakeeping performance for seagoing vessels.

It has been successful in developing the intended system which has made possible to provide the following functions and capabilities:

- immediate computation of the dynamic motions of a ship against the present and future weather conditions;
- evaluation of the integrated seakeeping performance of a ship on a real time basis and providing the navigators with the seakeeping informations on the spot enabling them to take the most appropriate countermeasures; and
- supporting the navigators in the selection of a safe sailing route by providing the integrateseakeeping performance.

\* 한국해양대학교 운항시스템공학부 교수

\*\* 한국해양수산연수원 항해학과 교수

## 제1장 서 론

거친 해상을 항해하는 선박의 안전 확보와 경제적인 운항을 위하여 선장을 비롯한 항해사는 선박의 내항성능을 파악하고, 선체 및 기상·해상 상태에 따라 적절하게 선체운동을 제어하는 조치를 취하여야 한다. 더 나아가 기상정보를 바탕으로 내항성능을 평가하고, 자연적 선속 저하를 고려하여 최적항로를 선정할 수 있어야 한다.

이 연구에서는 황천에서의 해난을 방지하고, 경제적인 운항을 위하여 인터넷을 이용한 선박의 종합내항성능 평가제공시스템을 개발하고자 한다.

그 첫단계로 항해중인 선박의 선장 및 해기사가 관측한 당시의 지역기상정보 혹은 선박이 위치할 해역의 기상예보정보, 그리고 선박의 기본요목과 상태 정보를 인터넷을 통하여 입력하여 선박의 현위치 혹은 예상위치에서의 선체운동응답을 계산하고 종합내항성능을 실시간으로 평가한다.

그리고 그 정보를 인터넷을 통하여 항해중인 선박에 제공함으로써 적절한 조치를 취할 수 있도록 하며, 더 나아가 기상예보에 의한 이후의 평가도

행하여 안전한 항로를 선정할 수 있도록 하는 시스템을 개발한다.

본 시스템을 이용함으로써 파랑증을 항해하고 있는 선박의 안전에 관한 사항을 선장의 경험적 판단에 의존하지 않고 정량적이고 객관적으로 평가할 수 있다.

## 제2장 실시간 내항성능 평가정보제공시스템

### 2.1 인터넷을 이용한 정보제공시스템

임의 선박에서 기상상태에 따른 선박의 내항성능을 평가하기 위해서는 실시간으로 당시의 기상상태와 선박의 명세 및 상태 정보를 내항성능평가 프로그램에 입력하여 처리해야 한다. 그러나 선박에는 이러한 시스템이 구축되어 있지 않으므로, 인터넷을 이용하여 이용자가 직접 이 시스템에 접속하여 입력창에서 관련 데이터를 입력함으로써 실시간으로 관련 데이터를 획득할 수 있다.

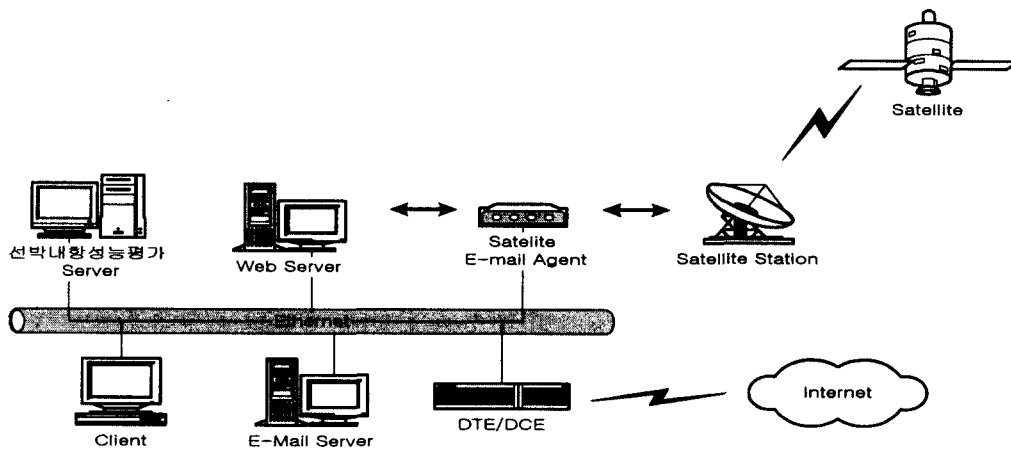


Fig. 1 Schematic Diagram of the System for Internet Service

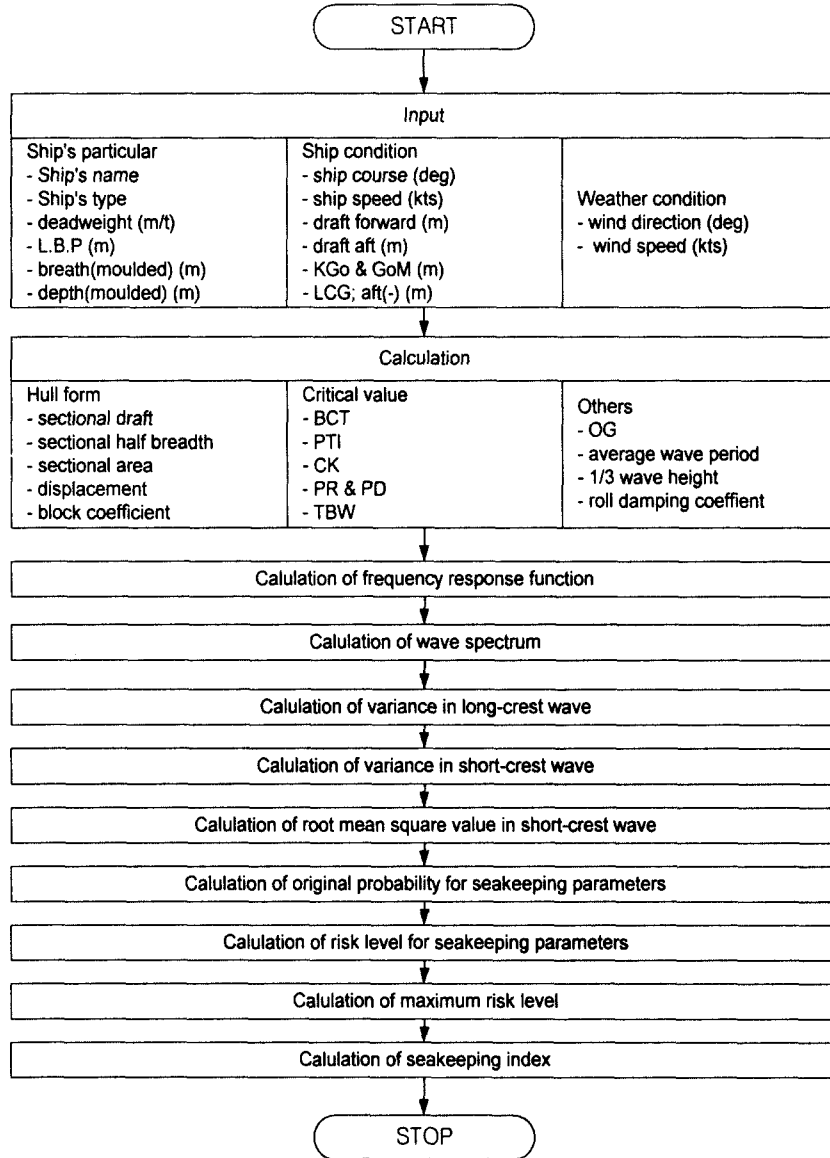


Fig. 2 Flow Chart of Seakeeping Evaluation Program

본 시스템의 전체적인 구성은 Fig. 1과 같이 나타낼 수 있다.

입력된 데이터를 이용하여 실시간으로 내항성능을 평가하는 프로그램의 순서도는 Fig. 2와 같다. 인터넷 상에 제공되는 이용자 입·출력 화면은

Fig. 3, Fig. 4와 같다. 입력 내용은 선박에서 측정되는 지역기상정보, 장차 위치할 해역의 기상정보, 선박의 명세와 상태정보 등이다. 이 시스템에서 출력하여 획득할 수 있는 정보는 각 내항성능평가요소의 위험도와 선박의 전체 안전을 나타

Ship's Name	<input type="text"/>
Type of Ship	<input type="text" value="** select **"/>
Deadweight	<input type="text"/> (M/T)
LBP	<input type="text"/>
Breath	<input type="text"/>
Depth	<input type="text"/>
Draft Forward	<input type="text"/>
Draft APT	<input type="text"/>
KG	<input type="text"/>
GM	<input type="text"/>
LCG	<input type="text"/>
Wind Direction	<input type="text"/>
Wind Speed	<input type="text"/>
Ship Course	<input type="text"/>
Ship Speed	<input type="text"/>

Fig. 3 Data Input Format on Web

선박 내항성능 평가  
(Integrated Seakeeping Performance Index)

The results of seakeeping evaluation

Ship course : 300.0 deg    Ship Speed: 16.0 kts  
 Wind direction : 100.0 deg    Wind speed: 20.0 kts  
 Beaufort scale : 5  
 Significant wave height : 2.218 m  
 Average wave period : 5.368 sec

Seakeeping parameters and risk level

Deck wetness : 0.181  
 Propeller ricing : 0.890  
 Slamming : 0.109  
 Rolling : 0.484  
 Vertical acceleration : 0.053  
 Transverse acceleration : 0.039  
 Bending moment : check by ship operator  
 Index : 0.8389

Remark

Fig. 4 Data Output Format on Web

내는 내항성능지표이다.

## 2.2 선박과 시스템과의 통신

선박에서 입력 데이터를 육상의 내항성능 평가 정보 제공 서비스를 하는 서버로 보내주면 서버는 평가처리를 수행하여 그 선박의 내항성능평가의 평가 결과를 선박으로 전송한다. 선박과 육상간의 메시지 및 파일 전송을 위해 양측에는 기본적으로 INMARSAT-C 장비가 DTE/DCE(data terminal equipment/data circuit terminating equipment) 역할을 하고 있으며, 위성 지구국과 INMARSAT-C 위성이 이를 중계한다.

## 제3장 선박의 내항성능 평가

### 3.1 파랑중의 선체운동

등속이동공간 좌표계를 기초로 하여, Tasai와 Takagi 등에 의해 체계화된 NSM(new strip method)을 이용하여 선체운동함수를 계산하였다.

그리고, 파랑중 선체운동계산을 위한 좌표계는 Fig. 5와 같다.

즉,  $O-XYZ$  : 정지공간 좌표계

$O_0-x_0y_0z_0$  : 등속이동공간좌표계

$O-xyz$  : 원점을 정지 자유표면에 놓은 선체 고정 좌표계

$G-x_by_bz_b$  : 원점을 중심에 놓은 선체 고정 좌표계

선박은 파의 진행방향에 대해  $\chi$ 각도로 이루어지는 직선상을 속도  $V$ 로서 항해하고, 평균위치  $O_0$ 의 주위에서 무게중심  $G$ 가 각각의 축방향 및 축 주위로 미소 진폭의 동요를 한다고 가정한다. 그리고, 위상각은 파정이 선체 중앙의 중심선에 있을 때를 기준으로 하며 위상전진을 (+)로 정한다.

### 3.2 해양파 스펙트럼

국제선체구조회의(ISSC)에서 채용한 장파정 해양파 스펙트럼인 P-M(modified Pierson-Mos-

kowitz)형 스펙트럼을 채택하였으며, 스펙트럼 식은 다음과 같이 표현된다.

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

여기서,  $T_0$  : 평균파주기  
 $H_{1/3}$ : 유의파고  
 $\omega$  : 파의 원주파수(circular frequency)

이 연구에서 해상상태를 정의하는 자료로는 L. Moskowitz와 W. Pierson이 개정한 The Navy Oceanographic Office의 것을 이용한다. 풍속 ( $V_w$ )과 평균파주기( $T_0$ ) 및 유의파고( $H_{1/3}$ )와의 관계는 회귀분석에 의해 식 2, 식 3으로 표현할 수 있다.

$$T_0 = -0.00826 + 0.269 V_w - 8.53E - 6.0 V_w^2 \dots\dots\dots(2)$$

$$H_{1/3} = -0.00337 + 0.000276 V_w + 0.00554 V_w^2 \dots\dots\dots(3)$$

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

$$S_{\zeta}(\omega, \theta) = \frac{2}{\pi} S_{\zeta}(\omega) \cos^2 \theta \quad ; \quad -\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$$

$$= 0 \quad ; \quad \text{그 밖의 경우} \dots\dots\dots(4)$$

여기서,  $\theta$  : 파의 평균 진행 방향과 성분파가 이루는 각도

파랑이 단파정일 때 전(total) 파랑 에너지 스펙트럼  $S_{\zeta}(\omega)$ 은  $-\theta_{max}$ 로부터  $+\theta_{max}$ 까지의 방향의 범위에 걸쳐 성분파 스펙트럼  $S_{\zeta}(\omega, \theta)$ 를 적분함으로써 구해진다. 연속된 단파정 파스펙트럼

$S_{\zeta}(\omega)$ 은 주된 파랑의 방향 주위에 분포된 감소된 장파정 스펙트럼의 유한한 개수에 의해 표현될 수 있다. 각각의 장파정 스펙트럼은 다음에 의해 주어진다.

여기서  $W$ 는 가중계수(weighting factor)로써 주어진 성분파 방향,  $\theta - \chi$ 에 따라 정해진다.

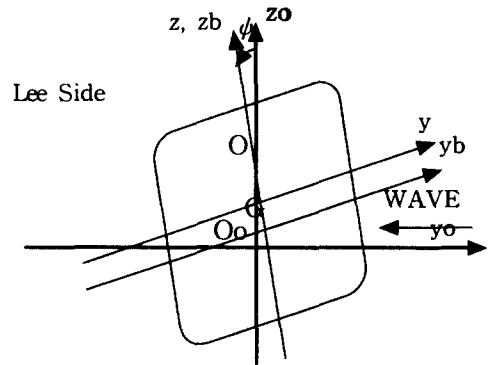
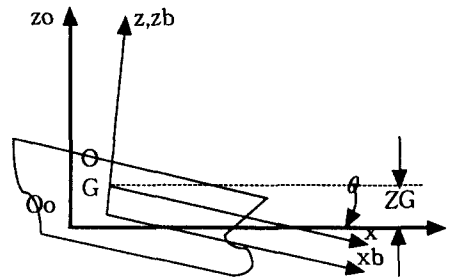
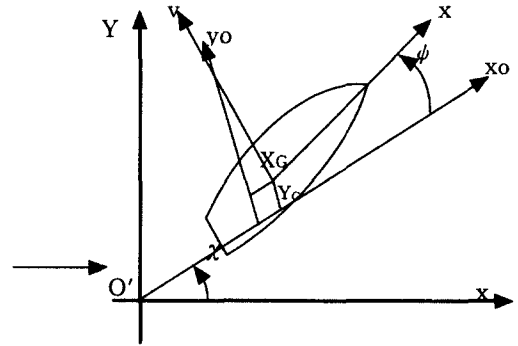


Fig. 5 Coordinate System

$$WS_{\zeta}(\omega) \dots\dots\dots (5)$$

선박이 파도와 의 만남각(encounter angle)  $\chi$ , 속도  $V$ 로서 항행중일 때 선체와 파와의 만남주파수( $\omega_e$ )와 파도의 원주파수( $\omega$ ) 사이에는  $\omega_e = \omega(1 - \frac{\omega V}{g} \cos \chi)$ 의 관계가 성립하므로,  $\omega$ 로써 표현된 파의 스펙트럼  $S_{\zeta}(\omega, \theta)$ 를 만남 주파수  $\omega_e$ 로써 표현된  $S_{\zeta}(\omega_e, \theta)$ 로 변형하여 계산하며, 그 식은 다음과 같이 유도된다.

$$\frac{d\omega_e}{d\omega} = 1 - \frac{2\omega V}{g} \cos \chi \dots\dots\dots (6)$$

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

파랑의 원주파수  $\omega$ 와 이에 대응하는  $\omega_e$ 를 갖는 스펙트럼 아래의 면적은 크기가 서로 같아야 하므로 다음과 같은 식이 유도된다.

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

$$S_{\zeta}(\omega_e, \theta) = S_{\zeta}(\omega, \theta) \frac{d\omega}{d\omega_e} \dots\dots\dots (7)$$

따라서, 조우파 스펙트럼은 다음과 같은 식이 된다.

$$S_{\zeta}(\omega_e, \theta) = \frac{S_{\zeta}(\omega, \theta)}{1 - (2\omega V/g) \cos \chi} \dots\dots\dots (8)$$

3.3 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<sup>2-4)</sup>.

- (1) 선수갑판상 해수침입(deck wetness)
- (2) 프로펠러 레이싱(propeller racing)
- (3) 슬레밍(slamming)
- (4) 횡요(rolling)
- (5) 전부수선(F.P.)에서의상하가속도(vertical-acceration)
- (6) S.S 8½에서의 좌우 가속도 (transvers ac-

celeration)

- (7) 선체 중앙부의 파랑 종굽힘 모멘트(bending-moment)

각 내항성능 평가요소의 시스템적 결합은 직렬 결합(serial combination) 구조로서, 한가지 요소만이라도 발생확률이 한계발생확률을 초과할 경우 선박은 전체 내항성능 기능을 잃어 위험한 상태에 도달하게 된다. 이 연구에서는 선체 중앙부의 파랑 종굽힘 모멘트는 계측장치에 의해 혹은 선박에서의 증강도 계산에 의해 검증하는 것으로 한다.

3.4 내항성능 평가요소의 분산치

선박이 단파정 불규칙파에 대하여 일정한 침로( $\chi$ )와 속도( $V$ )를 유지하면서 항행하고 있는 경우, 뉴 스트립법(NSM)에 의해 구해진 선체운동 응답함수로부터 계산된 임의의 내항성능 평가요소의 확률과정  $X_i(t)$ 의 주파수 응답함수를  $H_x(\omega_e, V, \chi - \theta)$ 라 하면, 스펙트럼  $S_{x_i}(\omega_e, \chi)$ 는 다음과 같다.

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

또한 분산치  $\sigma_{x_i}^2$ 는 다음과 같다.

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

식 10의 분산치를 변화시키는 변수는 선박과 파와의 만남각( $\chi$ ), 선속( $V$ ), 해상상태( $S$ )가 된다. 그리고 임의의 내항성 요소에 대한 스펙트럼이 식 8과 같을 때, 확률과정  $X_i(t)$ 는 다음과 같다.

$$X_i(t) = \int_0^{\infty} \cos(\omega_e t + \psi_i) \sqrt{2S_{x_i}(\omega_e, \chi)} d\omega_e \dots\dots\dots (11)$$

여기서,  $\psi_i = \epsilon_i(\omega) + \gamma_i$

$\gamma_i$ 는 0~2π까지 일양분포하는 위상각

### 3.5 내항성능 평가요소의 한계발생확률

내항성능 평가요소의 확률과정  $X_i(t)$ 의 순간 시간에 대한 진폭변동은 Gauss 분포를 따르고, 그 극치는 Rayleigh 분포에 따른다. 임의의 내항성 요소의 분산치  $\sigma_{X_i}^2$ 이 구해지면, 확률과정  $X_i(t)$ 의 극치가 어떤 일정한 값  $X_1$ 을 초과할 확률  $Q_{X_i}$ 는 다음과 같다.<sup>5,6)</sup>

$$Q_{X_i} = \int_{X_1}^{\infty} \left(\frac{X_i}{\sigma_{X_i}}\right) \exp\left(-\frac{X_i^2}{2\sigma_{X_i}^2}\right) dX_i \dots\dots\dots (12)$$

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

이것을 표준편차  $\sigma_{X_i}$ 에 관하여 풀면 아래 식이 된다.

$$\sigma_{X_i} = \sqrt{\frac{-X_1^2}{2\ln Q_{X_i}}} \dots\dots\dots (13)$$

식 10에 각 내항성요소의 한계치  $X_{lc}$ 를 넘을 확률인 한계확률  $Q_{X_e}$ 를 고려하면, 위험치가 되는 표준편차  $\sigma_{X_e}$ 를 구할 수 있다.

$$\sigma_{X_e} = \sqrt{\frac{-X_{lc}^2}{2\ln Q_{X_e}}} \dots\dots\dots (14)$$

### 3.6 내항성능 요소의 평가치

임의의 내항성능 요소의 극치 분포는 Rayleigh 분포로서, 그 발생확률을  $Q(\bar{X}_i)$ 라고 한다. 이 경우, 표준편차로서 무차원화한 한계치의 역수를  $X_i$  요소의 평가치  $E_{X_i}$ 라 정의한다<sup>7)</sup>.

$$E_{X_i} = \frac{1}{\sqrt{-2\ln\{Q(\bar{X}_i)\}}} \dots\dots\dots (15)$$

평가치  $E_{X_i}$ 가 0이 되면 임의 요소 ( $X_i$ )의 신뢰도는 1.0이 되고,  $E_{X_i}$ 가 무한대가 되면  $X_i$  요소의 신뢰도는 0이 된다.

### 3.7 내항성능 요소의 위험도

임의의  $X_i$  요소의 주어진 한계발생확률에 관한 한계 평가치를  $E_{X_e}$ 로 하고, 한계 평가치  $E_{X_e}$ 의 비를  $X_i$  요소의 위험도  $\mu_{X_i}$ 라 정의한다.

$$\mu_{X_i} = \frac{E_{X_i}}{E_{X_e}} = \frac{\{\bar{X}_i/\sigma_{X_e}\}}{\{\bar{X}_i/\sigma_{X_i}\}} = \frac{\sigma_{X_i}}{\sigma_{X_e}} \dots\dots\dots (16)$$

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

### 3.8 최대 위험도

내항성능 평가요소의 위험도  $\mu_{X_i}$ 에서 최대치를 최대 위험도  $\mu_M$ 이라 정의한다.

$$\mu_M(\chi, V, S) = \text{Maximum}[\mu_i(\chi, V, S)] \dots\dots\dots (17)$$

이  $\mu_M$ 은 어떤 상황하에서의 각 내항성 요소의 위험도  $\mu_{X_i}$  중에서 가장 최대인 값이다.

### 3.9 종합내항성능지표

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

각 내항성능 평가요소의 위험도가 같은 경우, 그 발생확률도 같다는 것으로 변환하여 계산하는 것으로 종합내항성능지표 (ISPI ; Integrated Seakeeping Performance Index),  $\mu_T$ 가 있다. 여기서  $\mu_T$ 는 다음과 같이 정의된다<sup>8)</sup>.

## 제4장 수치계산

Fig. 6~8은 2,641TEU 컨테이너선이 40kts의 바람을 받으면서 12kts, 16kts, 20kts로 각각 항해하는 경우 선수파로부터 횡방향으로 15° 간격으로 수치 계산한 결과를 나타낸 것이다.

2,641TEU 컨테이너선이 12kts로 항해하는 경우

선수파에서 파와 선박의 만남각 60°까지 내항성능지표가 1를 초과하고 있어 선박은 위험한 것으로 평가되었다. 이 경우 내항성능평가요소중 Deckwetness와 상하가속도가 위험요소로 작용하였다.

2,641TEU 컨테이너선이 속도를 증가하여 16kts로 항해하는 경우 위험 범위가 더욱 커져, 선수파에서 파와 선박의 만남각 70°까지 내항성능지표가 1를 초과하고 있어 선박은 위험한 것으로 평가되었다. 이 경우도 내항성능평가요소중 Deckwetness와 상하가속도가 위험요소로 작용하였다.

2,641TEU 컨테이너선이 속도를 더욱 증가하여 20kts로 항해하는 경우 위험 범위는 선수파에서 파와 선박의 만남각 75°까지 커져, 내항성능지표가 1를 초과하고 있다. 이 경우 내항성능평가요소중 위험요소는 기존의 Deckwetness와 상하가속도 이외에 슬래밍이 추가되었다.

Fig. 9~11은 4,000TEU 컨테이너선이 40kts의 바람을 받으면서 12kts, 16kts, 20kts로 각각 항해하는 경우 선수파로부터 횡방향으로 15° 간격으로 수치 계산한 결과를 나타낸 것이다.

4,000TEU 컨테이너선이 12kts로 항해하는 경우 선수파에서 파와 선박의 만남각 60°까지 내항성능지표가 1를 초과하고 있어 선박은 위험한 것으로 평가되었다. 이 경우 내항성능평가요소중 Deckwetness가 위험요소로 작용하였다.

4,000TEU 컨테이너선이 속도를 증가하여 16kts로 항해하는 경우 위험 범위가 더욱 커져, 선수파에서 파와 선박의 만남각 70°까지 내항성능지표가 1를 초과하고 있어 선박은 위험한 것으로 평가되었다. 이 경우 내항성능평가요소중 Deckwetness와 상하가속도가 위험요소로 작용하였다.

4,000TEU 컨테이너선이 속도를 더욱 증가하여 20kts로 항해하는 경우 선수파에서 파와 선박의 만남각 75°까지와 선미파 부근에서 내항성능지표가 1를 초과하고 있어 위험한 것으로 판단된다. 이 경우 내항성능평가요소중 위험요소는 Deckwetness와 상하가속도이다.

컨테이너선에 대한 내항성능 평가를 종합해 볼 때, 선수파 부근에서 내항성능지표가 가장 크며, 파향이 횡방향으로 이동하여 할수록 작아져 정횡

파 부근에서 가장 작은 값을 보이고 있다. 선속은 증가할수록 전반적으로 내항성능지표가 커지는 경향을 나타내었다. 따라서 감속과 변침을 동시에 실시하는 것이 황천 피항의 바람직한 조치임을 확인할 수 있었다.

### 제5장 결 론

본 연구에서는 항해중인 선박에서 측정되는 지역기상정보와 선박이 위치할 해역의 기상예보정보, 선박의 명세 및 상태정보를 입력요소로 하여 실시간으로 종합내항성능을 평가하여 내항성능 정보를 인터넷 등을 통하여 선박에 제공하는 시스템을 개발하였다.

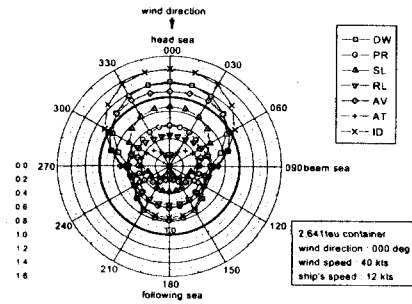


Fig. 6 Seakeeping Evaluation of 2,641TEU Container(Speed=12kts)

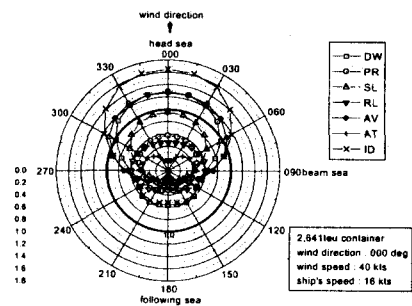


Fig. 7 Seakeeping Evaluation of 2,641TEU Container(Speed=16kts)



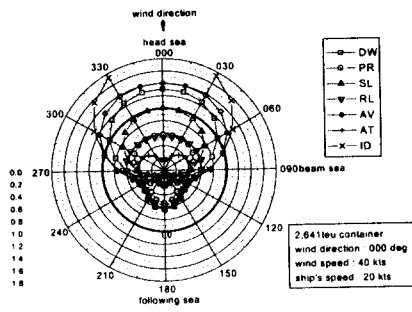


Fig. 8 Seakeeping Evaluation of 2,641TEU Container(Speed=20kts)

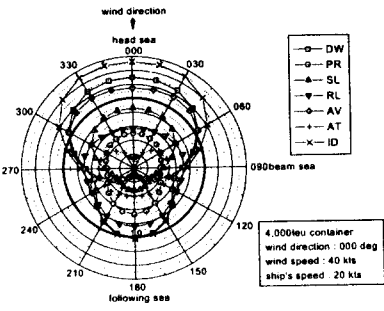


Fig. 11 Seakeeping Evaluation of 4,000TEU Container(Speed=20kts)

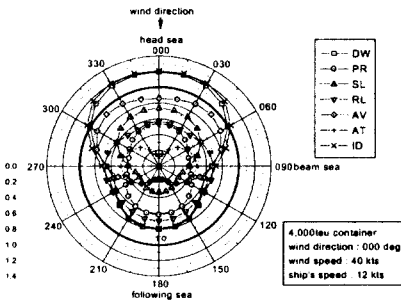


Fig. 9 Seakeeping Evaluation of 4,000TEU Container(Speed=12kts)

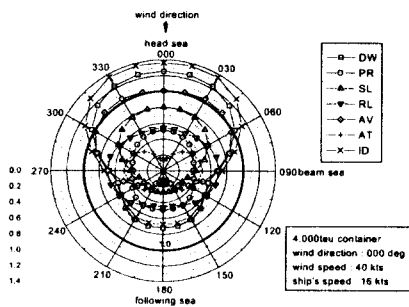


Fig. 10 Seakeeping Evaluation of 4,000TEU Container(Speed=16kts)

연구 결과를 요약하여 다음과 같다.

- 1) 선박 운항자 혹은 육상의 관련자가 인터넷을 이용하여 이 시스템에 접속함으로써 실시간으로 필요한 내항성능평가에 관한 정보를 얻을 수 있다.
- 2) 풍속에 대한 평균 파주기 및 유의파고와의 관계식에 따라 좀더 실측치 혹은 예상치에 가까운 해상에 대한 내항성능 평가가 가능하게 되었다.
- 3) 해상에서 황천 피항 조치를 실행할 때 선박운항자의 경험에 추가하여 이 시스템에 의한 내항성능 평가 정보를 이용할 수 있다.
- 4) 육상의 선박운항 관련 부서에도 이 시스템을 선박안전운항관리, 선대관리, 선박운반계약 등에 정보의 하나로 이용할 수 있을 것으로 생각한다.
- 5) 기상정보 서비스와 함께 이 시스템의 정보를 이용함으로써 예정항로에서의 내항성능 예측이 가능할 것으로 사료된다.

향후 본 연구와 관련하여 가상 선형 데이터베이스 구축에 의한 실시간 내항성능 평가시스템 개발에 관한 연구가 계속될 것이다.

### 참 고 문 헌

- 1) 山内保文：不規則 現象論, 海文堂(1986).

- 2) A.R.J.M. Lloyd : Seakeeping, Ellis Horwood Ltd.,
- 3) 中村彰一 : 風波および操舵による馬力増加, 肥大船の推進性能に関するシンポジウム, 日本造船學會.
- 4) E.V. Lewis : Principles of Naval Architecture
- 5) 金順甲·內藤 林·中村彰一 : 船舶の波浪中 耐航性能評價に関する研究, 日本造船學會論文集, No.155 (1984).
- 6) Rameswar Bhattacharyya : Dynamic of Marine Vehicles, John Wiley & sons (1978).
- 7) 金順甲·金炳辰·李忠魯 : 벌크선의 적화상태에 따른 항해안전성 평가에 관한 연구, 해사산업연구소 논문집 (1993).
- 8) 金順甲·孔吉永 : 선박의 항해중 종합내항성능 지표에 관한 연구, 한국항해학회지, 제21권, 제2호(1997).