

선박 탑재형 내항성능 평가시스템 개발 (1)

- 내항성능 평가요소의 상대위험도 D/B 구축 -

공길영* · 이상민* · 김철승**

*한국해양대학교 운항시스템공학부, ** 목포해양대학교 해상운송시스템학부

Development of the Seakeeping Performance Evaluation System Built-On-Ship (1)

- Establishment of the Relative Dangerousness D/B for Factors on Seakeeping Performance-

Gil-Young Kong* · San-Min Lee* · Chol-Seong Kim**

*Division of Ship Operation Systems Engineering, Korea Maritime university, Pusan 606-791, Korea
**Division of Maritime Transportation System, Mokpo National Maritime university, Mokpo 503-729, Korea

요약 : 본 연구의 목적은 항해하고 있는 선박의 항해안전성을 평가할 수 있는 탑재형 내항성능 평가시스템 개발을 위한 각 내항성능 평가 요소에 대한 상대위험도 D/B를 구축하고자 한다. 탑재형 내항성능 평가시스템은, 선박에 설치하여 선체 운동에 의해 발생하는 상하방향의 가속도를 측정하는 상하가속도 측정기와, 선박의 항해 안전성을 평가하는 종합내항성능지표를 계산하는 컴퓨터 및 종합내항성능지표를 토대로 내항성능 평가도 및 경과도를 모니터 화상 처리 공간상에 표시되도록 구성되어진다. 본 논문에서는 이 중에서 선박의 변환 평가치 및 한계 평가를 사용하여 파랑 중 선박의 종합적인 항해안전성을 평가하는 종합내항성능지표를 계산하는데 필요한 내항성능 평가 프로그램의 알고리즘에서 중요한 역할을 담당하는 내항성능 평가요소의 상대위험도 D/B를 구축하는 방법을 제시한다. 그리고 모델 선박을 사용하여 구축된 상대위험도 함수가 주어진 화물 적재상태, 해상상태, 파향 및 선속에 대한 해당 조건을 토대로 내항성능 평가 프로그램에서 정확하게 구현될 수 있는 것을 검토하였다.

핵심용어 : 내항성능, 항해안전성, 상대위험도, 종합내항성능지표

Abstract : The final goal of this research is to establish the relative dangerousness D/B for factors on seakeeping performance. This D/B is essential to develop the seakeeping performance evaluation system built-on-ship. The system is composed of the apparatus for measuring a vertical acceleration to be generated by the ship's motions, computer for calculating the synthetic seakeeping performance index and monitor for displaying the evaluating diagram of navigational safety of ship. In this paper, a methodology on the establishment of the relative dangerousness D/B for factors on seakeeping performance is presented by a numerical simulations, playing an important role on the algorithm of the program for calculating the synthetic seakeeping performance index. Finally, it is investigated whether the relative dangerousness D/B can be realized an accurate values according to the loading conditions, weather conditions, wave directions and present ship's speed of a model ship.

Key Words : Seakeeping Performance, navigational safety, relative dangerousness, seakeeping performance index

1. 서 론

차세대를 지향하는 조선·항해 기술의 과제는 선박이 출항지에서 기항지까지 고도의 안전성과 신뢰성을 유지하면서, 최적의 항로와 속력을 택하여 가장 경제적인 해상 수송을 수행하는 고신뢰도 지능화 선박을 연구·개발하는 것이다. 이러한 고신뢰도 지능화 선박의 자동운항시스템을 개발하기 위해서 반드시 해결해야 할 중요한 과제는 선박이 어떤 해상을 항해함에 있어 어느 정도의 운항 속도로 항해해야 하는 것인가와 선박의 종합적인 항해 안전성이 어느 정

도인가를 정량적으로 판단하는 것이다. 그리고 만약 이 선박의 현재 운항 상태가 위험하다고 판단되는 경우, 그 위험 상태를 벗어나기 위해서 보통 침로나 선속을 조정하게 되는데, 이런 조치를 어떻게 얼마만큼 취해야 선박의 안전을 확보할 수 있는가 하는 것이다.

파랑 중을 항해하는 선박의 내항성능 평가에 관한 현재까지의 연구는 선박의 운동이 원인이 되어 발생하는 여러 현상들 중에서 적절한 평가요소를 선정하고 이것들에 한계치와 한계발생확률을 설정하는 방법이 사용되어져 왔다. 또한, 이들 요소를 이용한 평가 방법으로는 내항성능 평가요소 사

* 대표저자 : 공길영(중신회원), gykong@hhu.ac.kr 051)410-4273,
* 정회원, oasyslee@hanmail.net 051)410-4868,
** 중신회원, cskimu@mail.mmu.ac.kr 061)240-7307

이의 상관 관계를 밝혀 한 요소를 기준 요소로 내항성능을 평가하는 방법, 기존 내항성능 평가요소 중 선박 운항자들이 감각적인 면에서 정량화된 평가요소로 채택하기 쉬운 종 운동과 횡 운동을 평가 요소로 채택하여 평가치를 계산하는 방법, 그리고 선박의 종류에 따라 평가 요소를 달리하여 평가하는 방법 등이 있다. 그리고 최근 공 등은 선속 감소에 관한 추진 성능을 포함한 내항성능과 신뢰성 공학 기법을 이용한 전문가 시스템을 도입하여 선박의 항해 안전성을 종합적으로 평가할 수 있는 종합내항성능지표 (Synthetic Seakeeping Performance Index)를 개발하였다. 종합 내항성능지표는, 먼저 이론 계산식을 이용하여 과량 중을 항해하고 있는 선박의 선체 운동이 원인이 되어 발생하는 기존의 각 내항성능 평가요소에 대한 발생 확률을 계산하고, 내항성능 평가치, 위험도를 계산한다. 그리고 내항성능 평가요소의 위험도가 같은 경우 그 발생 확률도 같다는 신뢰성 공학 이론을 이용하여 선박의 종류, 적화 상태 등에 관계없이 어떠한 운항 상태에서도 선박 전체의 항해 안전성을 임의의 편리한 한 개의 내항성능 평가요소만을 계측하여 평가할 수 있는 종합적인 평가 방법이다.

한편, 기존의 내항성능 평가요소는 한계발생확률이 각각 다르게 제안되어져 있기 때문에 선박 전체의 내항성능을 평가하기 위해서는 모든 평가요소의 계측을 필요로 한다. 그러나 모든 요소에 센서를 설치하여 평가한다는 것은, 계측을 위한 센서의 설치가 불가능한 것도 있고, 경제적인 면에서도 비용의 과다로 인하여 실용화에 많은 문제점을 가지고 있다.

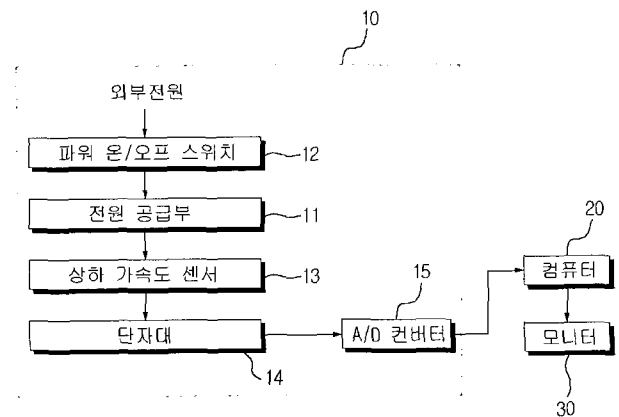
따라서, 본 연구의 최종적인 목표는 기존의 내항성능 평가 방법상의 문제점을 개선하고 평가요소 계측상의 어려움을 해결할 수 있는 평가 방법으로, 임의의 대표 요소 한 가지에 의한 선박 전체의 항해 안전성 평가 즉, 선박 운항자들이 감각적인 면에서 정량화된 평가요소로 채택하기 쉬운 선체 상하가속도만을 계측하여 선박의 종합적인 내항성능을 평가할 수 있는 시스템을 개발하는데 있다. 이러한 탑재형 내항성능 평가시스템은, 선박에 설치하여 선체 운동에 의해 발생하는 상하방향의 가속도를 측정하는 상하가속도 측정기와, 선박의 항해 안전성을 평가하는 종합내항성능지표를 계산하는 컴퓨터 및 종합내항성능지표를 토대로 내항성능 평가도 및 경과도를 모니터 화상 처리 공간상에 표시되도록 구성되어진다.

본 논문에서는 이 중에서 선박의 변환 평가치 및 한계 평가치를 사용하여 종합적인 내항성능을 평가하는 종합 내항성능지표를 계산하는 내항성능 평가 프로그램의 알고리즘에서 중요한 역할을 담당하는 내항성능 평가요소의 상대위험도 D/B를 구축하는 방법을 제시한다. 그리고 모델 선박을 사용하여 구축된 상대위험도 함수가 주어진 적재상태, 해상상태, 파향 및 현재 선속에 대한 해당 조건을 토대로 내항성능 평가 프로그램에서 정확하게 구현될 수 있는지를 검토하였다.

2. 선박 탑재형 내항성능 평가시스템

2.1 시스템의 구성

내항성능 평가시스템은, Fig.1과 같이 선박에 설치하여 선체의 운동에 의해 발생하는 상하방향의 가속도를 측정하는 상하가속도 측정기와, 측정된 상하방향의 가속도를 전송 받아 상하가속도의 분산치를 계산하고, 계산된 분산치와 운항자로부터 입력받은 적재상태 및 해상조건을 이용하여 선박의 항해 안전성을 평가하는 종합내항성능지표(SPI)를 계산하는 컴퓨터를 포함한다. 상기 컴퓨터는, 계산된 분산치와 적재상태 및 해상조건을 이용하여 상하가속도에 대한 각 내항성능평가요소의 상대 위험도를 계산한다. 또한 계산된 상대위험도를 이용하여 각 내항성능 평가요소의 변환 평가치와 그 한계 평가치를 계산한 후 계산된 변환 평가치의 그 한계 평가치에 대한 비로서 계산되는 종합내항성능지표를 토대로 다차원 내항성능 평가요소를 고려한 항해 안전성 평가도 및 항해 안전성 평가 결과에 대한 경과도를 화상 처리하여 공간상에 표시하는 모니터 등으로 구성된다.



상하가속도 측정기

Fig. 1 Seakeeping Performance Evaluation System Built-on-Ship

2.2 종합내항성능지표 및 상대위험도 계산 서브루틴

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 항해안전성을 종합적으로 평가할 수 있는 종합 내항성능지표(SPI: Synthetic Seakeeping Performance Index)가 개발되었다. 이것은 각 내항성능 평가요소의 위험도가 같은 경우, 그 발생확률도 같다는 것을 변환하여 계산하는 것으로, 임의의 한 개 요소만을 계측하여도 선박 시스템 전체의 항해 안전성을 평가할 수 있는 지표이다.

Fig.2는 선박의 종합내항성능지표를 계산하는 동작 흐름도로써 다음과 같이 구성되어 있다. 먼저, Fig.1의 컴퓨터(20)는 상하가속도 측정기(10)의 초기화를 수행한다(S100). 이후, 선체의 상하가속도에 대한 신호를 토대로 상하가속도의 평균치 및 분산치를 계산하도록 하는 상하가속도 계산 서브루틴을 수행한다(S200). 이 후, 컴퓨터는 운항자로부터 키보드 및 마우스 등과 같은 입력장치를 통해 적재상태(예를 들면, Full loaded condition, Half loaded condition, Ballast loaded condition 등) 및 해상 조건(예를 들면, 진풍향, 진풍속, 선박의 속력 및 선박의 침로 등)이 입력되었는지 여부를 판단한다(S300). 그리고 운항자로부터 적재상태 및 해상 조건이 입력된 경우, 상기 상하가속도 측정기로부터 전송된 선체의 상하가속도를 토대로 자동 계산되어 입력된 상하가속도의 분산치를 이용하여 표준편차를 계산한다(S304).

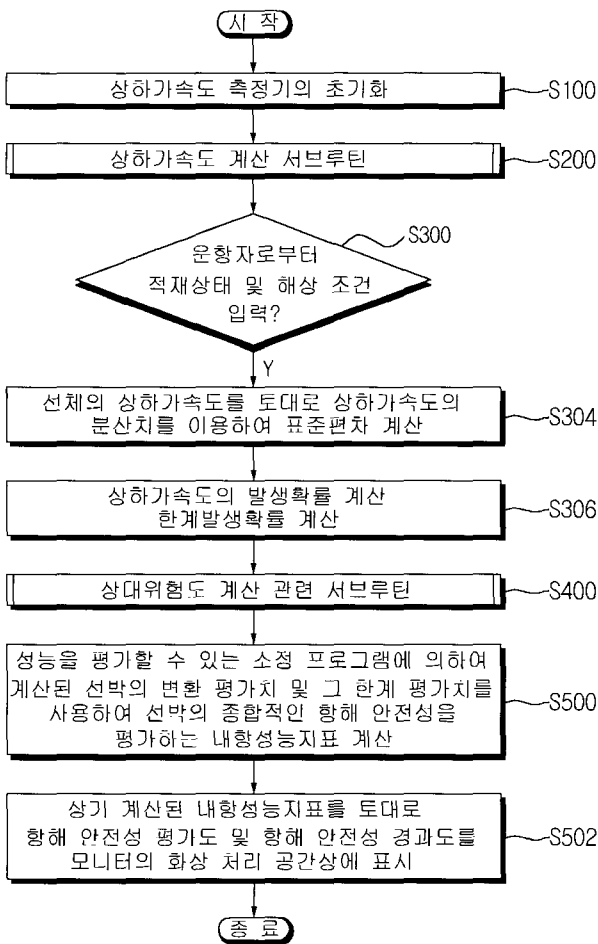


Fig. 2 Flow Chart for Calculating the Synthetic Seakeeping Performance Index

그리고 상기 계산된 표준편차를 이용하여 내항성능 평가 요소가 한계치를 초과하는 발생확률을 계산하고, 적재상태,

해상상태, 파향 및 현재 선속이 모두 입력된 경우 각 내항성능 평가요소의 상대위험도를 계산하는 상대위험도 계산 관련 서브루틴을 수행한다(S400).

상대위험도 계산 관련 서브루틴(S400)을 Fig.3을 참조하여 설명하면 다음과 같다. 컴퓨터는 먼저 화물 적재상태가 입력되었는지 여부를 판단한다(S401).

S401 단계의 판단결과, 적재상태가 입력되지 않은 경우, 소정시간 대기상태를 유지한다. 또한, S401 단계의 판단결과, 적재상태가 입력된 경우, 해상상태(예를 들면, B.F.No. 3-10)가 입력되었는지 여부를 판단한다(S403).

S403 단계의 판단결과, 해상상태가 입력되지 않은 경우, 소정시간 대기상태를 유지한다. S403 단계의 판단결과, 해상상태가 입력된 경우, 파향(예를 들면, 180도 - 000도, 10도 간격)이 입력되었는지 여부를 판단한다(S405).

S405 단계의 판단결과, 파향이 입력되지 않은 경우, 소정시간 대기상태를 유지한다. S405 단계의 판단결과, 파향이 입력된 경우, 현재 선속(예를 들면, Knots)이 입력되었는지 여부를 판단한다(S407).

S407 단계의 판단결과, 현재 선속이 입력되지 않은 경우, 소정시간 대기상태를 유지한다. S407 단계의 판단결과, 현재 선속이 입력된 경우, 해당 조건을 토대로 각 내항성능 평가요소의 상대 위험도가 계산되도록 한다(S409).

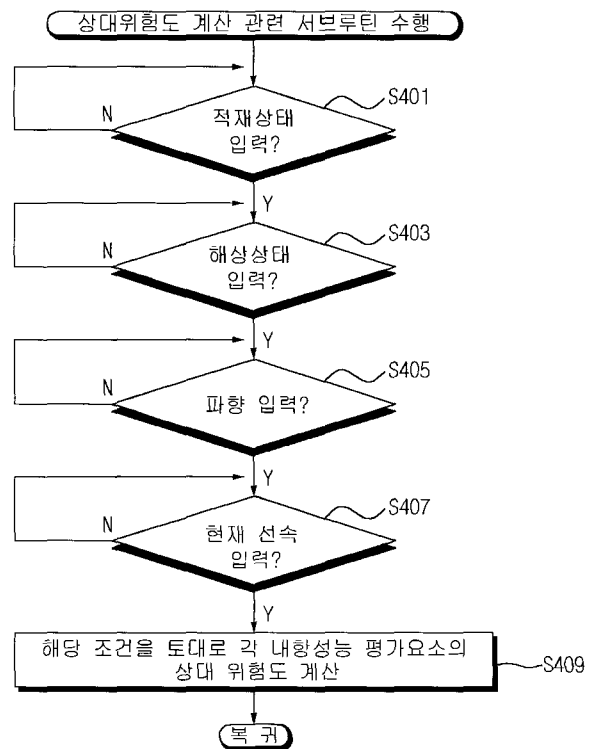


Fig. 3 Subroutine for Calculating the Relative Dangerousness

이 후, 컴퓨터는 소정의 프로그램에 의하여 계산된 선박

의 변환 평가치 및 그 한계 평가치를 사용하여 선박의 종합적인 항해 안전성을 평가하는 종합내항성능지표가 계산되도록 한다(S500). 마지막으로 계산된 종합내항성능지표를 토대로 항해 안전성 평가도 및 항해 안전성 경과도를 모니터의 화상 처리 공간상에 표시되도록 한다(S502).

한편, 상대위험도는 선박의 종류, 선박의 크기 및 각 종 선박의 특성에 따라 다른 값을 가지게 되며, 특히 동일한 선박의 경우에도 선박의 적재상태, 파와의 만남각, 해상상태, 선속 등에 따라 다른 값을 가지게 된다. 따라서 이 후 각 장에서는 파랑 중 선박의 종합적인 항해안전성을 평가하는 종합내항성능지표를 계산하는데 필요한 내항성능 평가프로그램의 알고리즘에서 중요한 역할을 담당하는 내항성능 평가요소의 상대위험도 D/B를 구축에 관한 이론적 배경을 간략하게 설명하고, 대상선박을 선정하여 그 구체적인 방법을 제시한다.

3. 상대위험도 D/B 구축에 관한 이론적 배경

3.1 해양파 스펙트럼

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

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

여기서, T_0 : 평균파주기

$H_{1/3}$: 유의파고

ω : 파의 원주파수(circular frequency)

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

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

여기서, θ : 파의 평균 진행 방향과 성분파가 이루는 각도
선박이 파도와 만남각 (encounter angle) χ , 속도 V 로 항해중일 때 선체와 파와의 만남주파수(ω_e)와 파도의 원주파수(ω) 사이에는 $\omega_e = \omega(1 - \frac{\omega V}{g} \cos \chi)$ 의 관계가 성립하므로, ω 로서 표현된 파의 스펙트럼 $S_{\zeta}(\omega, \theta)$ 은 만남

주파수 ω_e 로서 표현된 $S_{\zeta}(\omega_e, \theta)$ 로 변형하여 계산하며, 그 식은 다음과 같이 유도된다.

$$\frac{d\omega_e}{d\omega} = 1 - \frac{2\omega V}{g} \cos \chi \\ d\omega_e = \left(1 - \frac{2\omega V}{g} \cos \chi\right) d\omega \quad (3)$$

파도의 원주파수 ω 와 이에 대응하는 ω_e 를 갖는 스펙트럼 아래의 면적은 크기가 서로 같아야 하므로,

$$S_{\zeta}(\omega, \theta) d\omega = S_{\zeta}(\omega_e, \theta) d\omega_e \quad (4)$$

이다. 따라서,

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

가 된다.

3.2 내항성능 평가요소의 분산치

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

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

또한, 임의의 내항성능 평가요소의 분산치 $\sigma_{x_i}^2$ 는 다음과 같다.

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

위 식의 분산치를 변화시키는 변수는 선박과 파와의 만남각(χ), 선속(V), 해상상태(S)가 된다.

그리고 임의의 내항성능 평가요소에 대한 스펙트럼이 식 (6)과 같을 때, 확률과정 $X_i(t)$ 는 다음과 같다.

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

여기서, $\psi_i = \epsilon_i(\omega) + \gamma_i$ 이고, γ_i 는 $0 \sim 2\pi$ 까지 일양분포하는 위상각이다.

3.3 내항성능 평가요소의 발생확률 및 한계표준편차

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

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

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

이것을 표준편차 σ_{X_i} 에 관하여 풀면 아래 식이 된다.

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

식 (10)에 각 내항성능 평가요소의 한계치 X_{ic} 를 넘을 확률인 한계발생확률 $Q_{X_{ic}}$ 를 고려하면, 위험치가 되는 한계 표준편차 $\sigma_{X_{ic}}$ 를 구할 수 있다.

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

3.4 내항성능 평가요소의 평가치

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

$$E_{X_i} = \frac{1}{\sqrt{-2 \ln \{Q(X_i)\}}} = \left[\frac{\sigma_{X_i}}{X_i} \right] \quad (12)$$

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.

3.5 내항성능 평가요소의 위험도 및 상대위험도

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

$$\mu_{X_i} = \frac{E_{X_i}}{E_{X_{ic}}} = \frac{\left[\frac{\sigma_{X_i}}{X_i} \right]}{\left[\frac{\sigma_{X_{ic}}}{X_{ic}} \right]} = \frac{\sigma_{X_i}}{\sigma_{X_{ic}}} \quad (13)$$

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

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

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

$$\mu_{ij} = \frac{\mu_j}{\mu_i} = \frac{\frac{X_j}{\sigma_{X_j}}}{\alpha_{ij} \cdot \left[\frac{X_i}{\sigma_{X_i}} \right]} = \frac{\sigma_{X_{ic}}}{\sigma_{X_i}} \cdot \frac{\sigma_{X_j}}{\sigma_{X_i}} \quad (14)$$

단, α_{ij} 는 i 요소와 j 요소의 한계 평가치의 비

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

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.

4. 상대위험도 D/B 구축의 일례

4.1 대상선박

본 연구에서 상대위험도 D/B 구축에 사용한 대상선박은 $L_{pp} = 93m$ 의 여객선형인 실습선 'HANNARA'로서 그 선도는 Fig.4에 표시하고, 적재상태에 따른 주요 제원을 Table 1에 나타낸다.

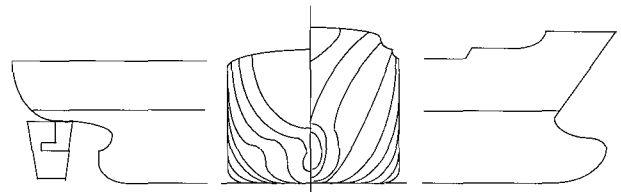


Fig. 4 Lines of T/S HANNARA

Table 1 Ship's Particulars and Loaded Conditions

CONDITION \ ITEM	FULL LOADED CONDITION	HALF LOADED CONDITION	BALLAST LOADED CONDITION
Length P.P. (m)	93	93	93
Breadth (m)	14.5	14.5	14.5
Depth (m)	7	7	7
Mean Draft (m)	5.256	4.972	4.514
Displacement(Ton)	4,427.52	4116.72	3635.26
Block Coefficient	0.6028	0.6028	0.6028
L.C.G. (m)	-1.205	-0.825	-0.590
V.C.G. (m)	5.077	5.160	5.550
GM (m)	1.317	1.225	0.900

4.2 D/B 구축의 항목과 조건

Table 2는 상대위험도 D/B 구축에 사용한 항목과 조건을 나타낸다. 먼저, 적재상태는 Full, Half, Ballast Loaded Condition 등 3조건으로, 해상상태는 B.F. Scale. No. 3-10까지, 파향은 180도를 선수파로 하여 000도 선미파까지 10도 간격으로 19조건을 선택하였고, 선속은 0-14 Kts를 채택하여 총 2280조건에 대하여 검토를 하였다.

Table 2 Items and Conditions for constructing D/B

ITEMS	CONDITIONS
적재상태	Full, Half, Ballast Loaded Condition
해상상태	B.F. Scale No. 3-10
과향	180도[선수파]에서 000도[선미파]까지 10도 간격
선속	0-14knots

그리고 해상상태를 나타내는 B.F. Scale No.와 유의파고 및 평균 파주기와의 관계는 WMO의 CODE 1100을 이용하였으며, Table 3과 같다.

Table 3 Beaufort Scale No. and Wave Characteristics

Beaufort Scale No.	Mean Wave Period T_0 (sec)	Significant Wave Height $H\frac{1}{3}$ (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

또한, 파랑 중을 항해하는 선박에서 각 내항성능 평가요소는 주어진 한계치를 초과할 때 그 현상이 발생하고, 그 발생 확률이 주어진 한계발생확률을 초과할 때 선박은 파랑 중에서 기능을 잃거나 아니면 위험하게 된다. 이와 같은 각 내항성능 평가요소의 시스템적 결합은 직렬 결합(serial combination) 구조로서, 한 가지 요소만이라도 발생확률이 한계발생확률을 초과할 경우 선박은 전체 내항성능 기능을 잃어 항해 안전상위험한 상태에 도달하게 된다.

본 연구의 대상선박인 여객선형 선박의 상대위험도 D/B를 구축하기 위하여 적용한 각 내항성능 평가요소는 불규칙한 해상을 항해하는 선박의 운동으로부터 발생하는 다음과 같은 현상을 선박의 내항성능 평가요소로 채택하였다.

- (1) Deck wetness
- (2) Propeller racing
- (3) Slamming
- (4) 횡동요
- (5) 상하 가속도
- (6) 좌우 가속도

또한, 각 내항성능 평가요소에 대한 한계치와 그 한계발생확률은 Table 4와 같다.

Table 4 Factors on the Seakeeping Performance

내항성능 평가요소	한계치	한계 발생확률
Deck wetness	F.P.의 유효건현	2×10^{-2}
Propeller racing	Propeller 상단 노출	10^{-1}
Slamming	S.S.8에서 선저노출과 동시에, 파에 돌입할 때 선저의 파면에 대한 상대속도가 한계속도(Threshold velocity)를 초과하는 것 단, Threshold velocity = $0.09\sqrt{gL}$	5×10^{-2}
횡 동요	선체중양부 weather side의 bulwark top에 해수가 유입하는 것을 한계상태로 하여 정수중 흘수면에서 bulwark top까지의 높이	10^{-3}
좌우 가속도	선교에서 좌우가속도가 0.38g를 초과할 경우	10^{-3}
상하 가속도	선교에서 상하가속도가 0.56g를 초과할 경우	10^{-3}

4.3 D/B 구축 결과

Fig.5-9에 나타난 것은 적재상태 (Half Loaded Condition), 해상상태 (B.F.No.7)에서 파와의 만남각이 180도(선수파)에서 000도에 이르는 범위에서 상하가속도에 대한 각 내항성능 평가요소의 상대위험도의 값을 각 선속 (V)에 대하여 함수 값으로 표시한 그래프이다.

Fig.5-1, 5-2가 상하가속도에 대한 선수 갑판 해수 침입의 상대위험도의 값 AVDMU을, Fig.6-1, 6-2가 상하가속도에 대한 슬래밍의 상대위험도의 값 AVSMU을, Fig.7-1, 7-2가 상하가속도에 대한 프로펠러 레이싱의 상대위험도의 값 AVPMU을, Fig.8-1, 8-2가 상하가속도에 대한 횡 운동의 상대위험도의 값 AVRUMU을, 그리고 Fig.9-1, 9-2가 상하가속도에 대한 좌우가속도의 상대위험도의 값 AVATMU을 표시한다. 여기서, 그림 내에 각각의 파와의 만남각에 따라 선속에 대한 상대위험도 곡선은 최소자승법을 사용하여 근사한 결과를 표시한다.

그림에서 알 수 있듯이 AVDMU, AVSMU, AVPMU는 선속에 대한 상대위험도 곡선이 파와의 전 만남각에 있어서 2차내지 3차의 다항식 함수로써 표현할 수 있다. 또한, AVRUMU, AVATMU도 선수파에서 선미 추사파에 이르기까지는 2차내지 3차의 다항식 함수로써 표현되지만, 선미

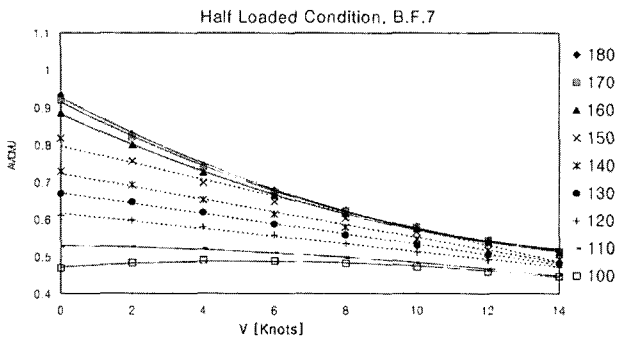


Fig. 5-1 Relative Dangerousness of Deck Wetness against Vertical Acceleration [180-100°]

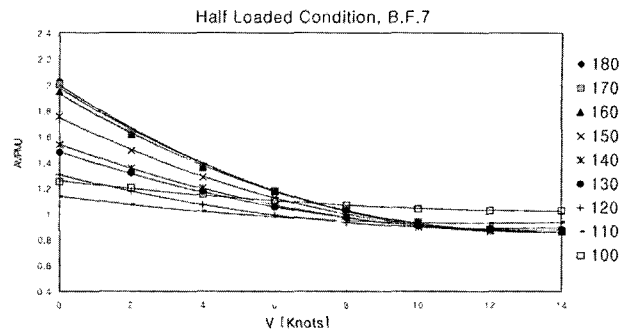


Fig. 7-1 Relative Dangerousness of Propeller Racing against Vertical Acceleration [180-100°]

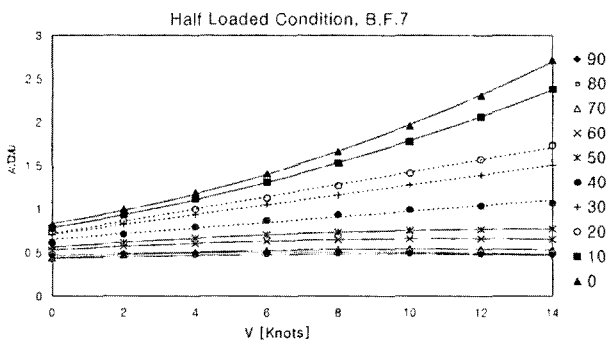


Fig. 5-2 Relative Dangerousness of Deck Wetness against Vertical Acceleration [090-000°]

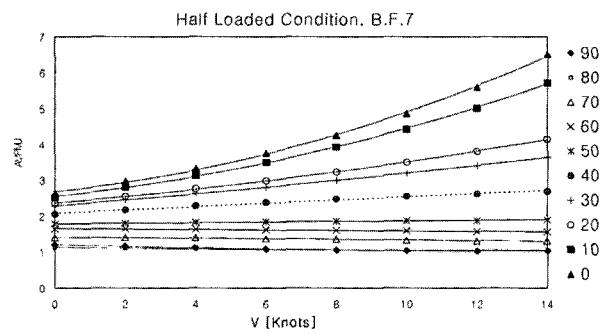


Fig. 7-2 Relative Dangerousness of Propeller Racing against Vertical Acceleration [090-000°]

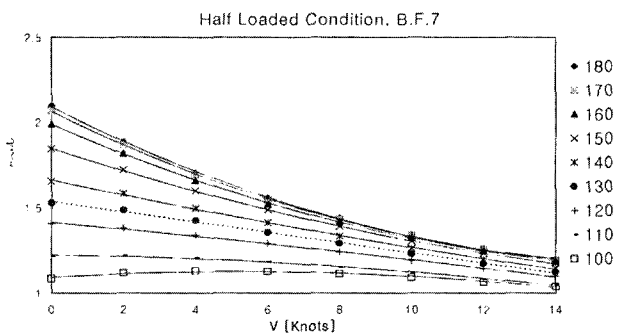


Fig. 6-1 Relative Dangerousness of Slamming against Vertical Acceleration [180-100°]

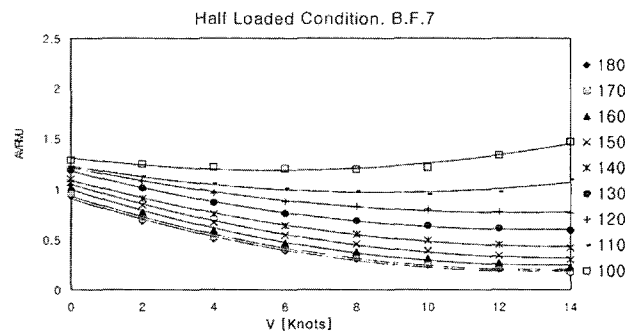


Fig. 8-1 Relative Dangerousness of Rolling against Vertical Acceleration [180-100°]

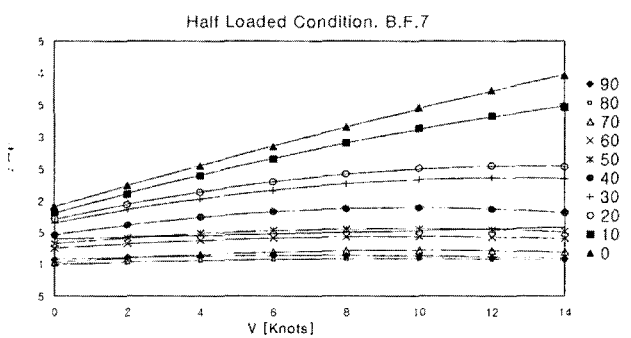


Fig. 6-2 Relative Dangerousness of Slamming against Vertical Acceleration [090-000°]

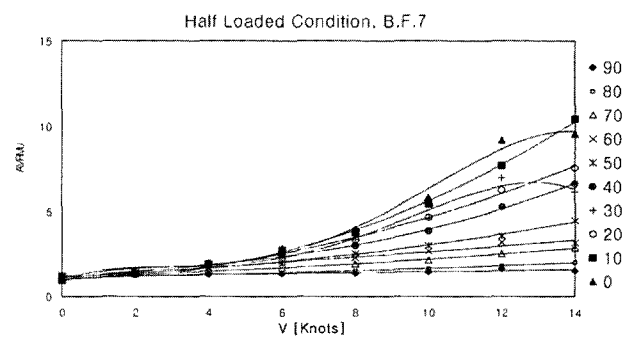


Fig. 8-2 Relative Dangerousness of Rolling against Vertical Acceleration [090-000°]

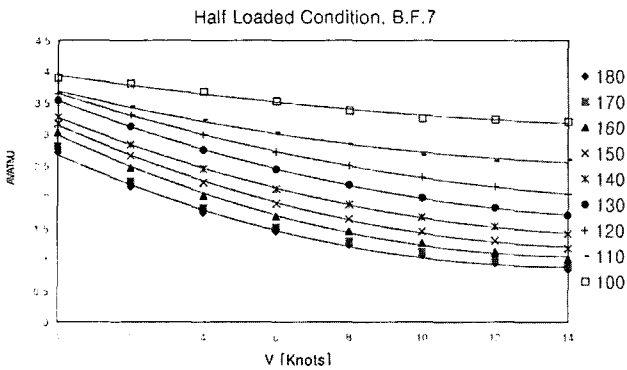


Fig. 9-1 Relative Dangerousness of Lateral Acceleration against Vertical Acceleration [180-100°]

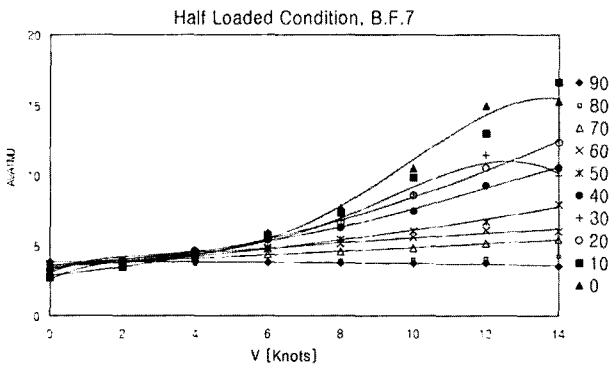


Fig. 9-2 Relative Dangerousness of Lateral Acceleration against Vertical Acceleration [090-000°]

추사파에서 선미파에 이르는 만남각 (030-000°)에서는 선속이 6 Kts 이상으로 증가하면, 상대위험도의 값이 급격하게 커지므로 고차의 다항식을 사용하여 상대위험도 함수를 나타내었다. 또한, 이러한 경향은 해상이 비교적 정온한 상태에서는 나타나지 않았지만, 해상상태가 B.F. Scale No.6 이상인 경우에서 두드러지게 나타나는 것을 알 수 있었다.

5. 결 론

본 연구에서는 파랑중을 항해하고 있는 선박의 항해안전성을 정량적으로 평가할 수 있는 탑재형 내항성능 평가시스템 개발을 위한 각 내항성능 평가요소에 대한 상대위험도 D/B를 구축하였다. 탑재형 내항성능 평가시스템은, 선박에 설치하여 선체 운동에 의해 발생하는 상하방향의 가속도를 측정하는 상하가속도 측정기와, 선박의 항해 안전성을 평가하는 종합 내항성능지표를 계산하는 컴퓨터 및 종합 내항성능지표를 토대로 내항성능 평가도 및 경과도를 모니터 화상처리 공간상에 표시되도록 구성되어진다. 본 논문에서는 이

중에서 선박의 변환 평가치 및 한계 평가치를 사용하여 파랑 중 선박의 종합적인 항해안전성을 평가하는 종합내항성능지표를 계산하는데 필요한 내항성능 평가 프로그램의 알고리즘에서 중요한 역할을 담당하는 내항성능 평가요소의 상대위험도 D/B를 구축하는 방법을 제시하였다. 그리고 모델 선박을 사용하여 구축된 상대위험도 함수가 주어진 화물적재상태, 해상상태, 파향 및 선속에 대한 해당 조건을 토대로 내항성능 평가 프로그램에서 정확하게 구현될 수 있는지를 검토하였다.

본 연구를 바탕으로 선박 탑재형 내항성능 평가시스템을 이용한 해상상태에 따른 항해 안전성 평가에 관한 연구가 계속될 것이다. 향후 선체운동가속도 계측 시스템을 이용하여 실 해역에서 계측된 가속도 변화량을 재생시키고, 재생된 가속도 변화량을 통하여 계측 당시의 해상상태 등을 재현할 수 있는 기술을 확보함으로써, 국제해사기구(IMO)에서 채택하고 있는 항해기록장치(VDR : Voyage Data Recorder)에 가속도 계측 데이터가 남아 있으면, 해난 당시의 정확한 선박 운항상태를 파악하고 해석할 수 있는 기술을 확보할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 공길영(1999), 선박의 항해중 종합내항성능지표에 관한 연구, 한국항해학회지 제21권 제2호
- [2] 공길영(1998), 선박의 속도저하를 고려한 내항성능 평가에 관한 연구, 해양안전학회지 제21권 제1호
- [3] 김순갑, 공길영(1992), 안전공간 설정에 의한 선박 내항성능의 평가 시스템 개발에 관한 연구, 한국항해학회, 제16권, 제1호
- [4] 김순갑, 박문수, 공길영(1994), 선박 종류에 따른 내항성능 평가에 관한 연구, 한국항해학회지, 제18권, 제2호
- [5] 김순갑, 김병진, 이충로(1993), 벌크선의 적화상태에 따른 항해안전성 평가에 관한 연구, 해사산업연구소
- [6] Frankel, E. G. (1988), "Systems Reliability and Risk Analysis", Kluwer Academic Publishers
- [7] Kong, G. Y., Kim, S. K. and Kim, C. S. (2002), "On the Development of an Information Service System for Navigational Safety of seagoing Vessels", Lecture Notes in Computer Science, ISSN 0302-9743
- [8] Price, W. G., Bishop, R. E. D. (1974), "Probabilistic Theory of Ship Dynamics", London Chapman and Hall, 1974