

굴곡된 협수로 통항에서 조선자의 주관적 위험감지도와  
조종위험도와의 상관 관계에 관한 기초 연구

A Study on the Correlation between Shiphandler's Subjective  
Evaluation and Maneuvering Risk in Curved Narrow channel

1996 . 4 . 20

한 국 해 기 연 수 원

교수 이 동 섭



# 屈曲된 狹水路 通航에서 操船者의 主觀的 危險感知도와 操縱危險度와의 相關關係에 關한 基礎 研究

이 동 섭\* · 윤 점 동\*\* · 정 태 권\*\*

A Study on the Correlation between Shiphandler's Subjective  
Evaluation and Maneuvering Risk in Curved Narrow channel

*Dong-Sup Lee\* · Jeom-Dong Yun\*\* · Tae-Gweon Jeong\*\**

## < 목 차 >

Abstract

1. 序 論

2. 船舶通航에서의 操縱危險度 評價에 關한 理論

3. 試 驗

4. 操船者의 主觀的 危險感知도와 操縱危險度の  
相關關係

5. 結 論

參考文獻

## Abstract

The assesment of the safety of ship's transit in a curved narrow channel consists of the maneuvering safety determined by the chance of running aground, the maneuvering difficulty determined by ship's workload, and shiphandler's subjective evaluation. In this study to examine the correlation between shiphandler's subjective evaluation and the maneuvering risk, the real-time and full-mission shiphandling simulator in the Korea Marine Training & Research Institutes(KMTRI) was utilized. On the conning bridge of the shiphandling simulator, 50 experienced masters conducted the modeled vessel of 60,000 deadweight tonnage along the designed channel under 3 different environmental conditions.

The findings were as follows :

(1) The frequencies of stress levels, work difficulties, vessel controllability and overall workload of shiphandlers are similar irrespective of environmental conditions and they are able to be represented as shiphandler's subjective evaluation.

\* 한국해기연수원 교수

\*\* 정희원, 한국해양대학교 해사대학 교수

(2) It is possible to assess and analyze theoretically the correlation between the shiphandler's subjective evaluation and maneuvering risk under each environmental condition by quantifying the data obtained from the tests. The results are as follows :

① As the degree of maneuvering risk increases, the shiphandler's subjective evaluation increases sharply near the curvature area of the designed channel.

② In the area of the curvature of the designed channel, maneuvering risk increases sharply with the danger of running aground under the environmental condition of current and wind coming from the stern.

## 1. 序 論

제2차 세계대전 이후 지속되어 온 선박의 대형화와 수출입 화물의 증가로 인한 항만 출입항로에서의 선박의 폭주는 선박의 조종을 어렵게 하여 통항 선박의 안전성을 현저히 저하시키고 있다. 또 이러한 선박조종상의 위험증가는 필연적으로 항로상에서의 선박의 충돌, 좌초 등과 같은 사고를 빈발케하여 경우에 따라 항만교통의 마비나 대형 해양오염 사고로 이어지고 있다.

이와 같은 사고를 사전에 방지하기 위하여서는 여러가지 사전, 사후 대책이 강구되고 있지만 가장 핵심이 되는 것은 선박의 안전운항을 충분히 확보할 수 있도록 항만을 설계하고, 선박을 안전하게 조종하는 것일 것이다. 그러나, 항만의 건설에는 거대한 자본이 투입되고 일단 설계·건설이 이루어지면 개조가 매우 어려우며, 대형 선박 역시 건조가 이루어지면 그 개조가 쉽지 않다. 그러므로 항만 건설시에는 그 계획단계에서 건조될 부두의 제반 설계인자를 고려하고, 특히 출입항 선박의 통항안전성에 관한 치밀한 검토가 있어야 한다. 이를 위해 선진외국에서는 일찍부터 선박조종 시뮬레이터가 이용되어 왔으며,<sup>(1),(2),(3),(4),(5)</sup> 우리나라의 경우에도 최근 아산만과 광양항의 항만과 항로의 설계시에 이를 적용한 실적이 있다.<sup>(6),(7),(8),(9)</sup>

그런데 선박 조종 시뮬레이터로 안전도 높은 항만과 항로를 설계하기 위하여 중요한 것은 먼저 그 항로를 통항하는 선박의 운동특성과 항로나 항만의 영상이 실제의 것과 비슷하여야 하고, 조종결과에 대한 적절한 분석이 이루어져야 한다.

선박조종 시뮬레이터의 시험결과를 분석하는 방법으로서의 조종결과상의 객관적인 위험도인 통항 위험도와 조선자가 조종중에 주관적으로 느끼는 부담감(본 연구에서는 '주관적 위험감지도'라 한다.)을 통계적으로 처리하는 방법을 취하고 있다. 통항위험도는 조종위험도와 조종곤란도로 표시할 수 있는데 조종위험도는 하나의 통항 선박이 가진 항로경계를 침범할 확률로 평가하는 것이고 조종곤란도는 선수방위 변동량, 스웨프트패스, 타 및 기관 사용량 등으로 평가하는 것이다. 주관적 위험감지도는 시뮬레이션중 조선자 개개인이 느끼는 위험도로 표시되고 있다.

그러나 이들에 관한 연구는 각기 분리되어 이루어졌고 그들의 상관관계를 종합적으로 평가한 연구는 전혀 없다. 즉, 조종위험도 및 조종곤란도가 실제 주관적 위험감지도에 주는 영향이나 그 관계는 어떠한 것인가와 조선자가 주관적으로 느끼는 위험감지도의 값이 어느 정도 일 때 그 항로는 실제로 얼마만큼 위험한 것인지는 연구된 바가 없는 실정이다. 다만 李 등이 직선항로에서의 조종위험도와 위험감지도를 연구한 바가 있다.<sup>(10)</sup>

따라서 조종곤란도와 위험감지도와의 상관관계는 다음 기회로 미루고 본 연구에서는 굴곡된 협수로에 있어서 위험감지도와 조종위험도를 각각 정량적으로 평가하고, 나아가 이들의 상관관계를 종합적으로 분석 평가함으로써 종합적인 선박통항의 안전성 평가기준을 개발하는 것을 그 목적으로 하고 있다.

본 연구에서는 한국해양연구소원이 보유하고 있는 풀미션 브릿지 시뮬레이터(full mission bridge

simulator)를 이용하고 모델선박으로서는 재화중량톤수 60,000톤급을 이용하였으며 본 연구에서 채용한 항로는 직선항로와 굴곡항로로 구성되어 있으며, 굴곡항로의 변침각도는 30°가 되도록 하였다. 통항상의 환경조건으로서는 조류와 바람이 동시에 작용하는 상태를 택하였다. 먼저 조류에 관하여는 속도는 2노트로서 방향은 선박의 진행방향에 대하여 우현에서 받을 때, 좌현에서 받을 때, 선미에서 받을 때로 하였으며, 바람은 20노트로서 방향은 조류와 같은 방향으로 설정하였다.

시뮬레이션시험에 참가한 선장은 실선경력이 3년 이상으로 50명이다. 시뮬레이션 방법은 선장이 직접 조종을 하도록 하고, 항해사는 선장에게 필요한 항해정보를 제공하거나 선장의 명을 받아 기관 사용 등의 필요조치를 하도록 하며, 조타수는 선장의 침로 변경명령이나 조타명령을 실선에서와 같이 수행하도록 하였다. 시뮬레이션이 끝난 후 위험감지도에 대하여는, 조종상의 심적 부담도, 업무수행의 난이도, 선박의 제어도 및 업무 부담도의 4개 항목에 대하여 각각의 레이팅 스케일을 1에서 9까지 9등분하여 응답하도록 하였다.

## 2. 船舶通航에서의 操縱危險度 評價에 關한 理論

협수로에서 선박통항의 안전성을 평가하기 위하여서는 선박조종 시뮬레이터를 이용하여 숙달된 조선자가 실제의 조종환경조건과 같은 상태하에서 선박조종을 반복실시한 다음 조종선박의 운동체적을 분석 검토하여 조종의 안전성을 평가하는 것이 최상의 방법이라고 볼 수 있다. 이절에서는 선박통항의 안전성에 직접적인 요소가 되는 조종위험도 평가에 관한 이론을 설명한다.

### 2.1 조종위험도의 평가방법

본 연구의 조종위험도는 선박통항의 안전성 평가중 가장 중요한 것으로 임의 선박이 항로를 통항하는 경우 그 선박이 항로경계를 침범할 확률로써 평가하는 것이다. 침범확률이란 선박이 항로를

지날 때 항로경계를 벗어날 확률을 말한다.<sup>(10),(11)</sup>

본 연구에서는 길이방향분석(in-length analysis)을 이용하였는데 이 분석은 어느 구역을 지나선 선박의 위치를 짧은 시간 간격으로 샘플링한 다음 이것을 폭방향의 분포를 산출하여 선박의 항로 경계의 침범확률을 구하는 방식이다. 이러한 길이방향분석은 어느 특정한 곳에서의 위치 분포를 알 수 없다는 단점은 있으나 샘플링 횟수를 증가시킬수록 모집단에 대한 예측을 보다 강력하게 할 수 있어 침범확률을 보다 정확하게 구할 수 있는 이점이 있다.

선박은 외력의 영향으로 진행방향에 대하여 비스듬하게 항진하므로 선수나 선미 끝이 항로 경계를 벗어나기 쉽다. 그러므로 선체의 중심위치를 기준으로 한 선박의 위치분포를 사용하여 침범확률을 구하게 되면 실제와는 많은 차이가 있다. 따라서 본 연구에서는 선박 양끝의 위치분포를 사용하여 확률을 구하기로 한다.

본 연구에서는 구역마다 선박의 선수 및 선미 위치분포를 30초 간격으로 샘플링하여, 그 분포가 정규분포인지 아니면 Poisson분포인지를 K-S test로 결정하기로 한다.

선박위치 분포가 정규분포이면 식(2·1)를 이용하여 정규분포함수의 표준화한 항로경계에 해당하는 값  $\xi$ 를 구한다.

$$\xi = \frac{1/2 Cw - \mu}{\sigma} \quad (2 \cdot 1)$$

여기서  $\mu$ 는 선박의 외연과 항로경계와의 거리에 대한 평균,  $\sigma$ 는 선박과 항로경계와의 거리에 대한 표준편차,  $Cw$ 는 협수로의 폭을 말한다. 식(2·1)로  $\xi$ 값을 구하면 항로경계를 침범할 확률  $P_n$ 은 다음식과 같이 구할 수 있다.

$$P_n = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\xi} \frac{e^{-x^2}}{2} dx \quad (2 \cdot 2)$$

식(2·2)의 침범확률  $P_n$ 은 선수분포에 대한 침범확률이므로 선미분포에 대한 침범확률을 선수분포에 대한 침범확률을 구하는 것과 마찬가지로 구하여 이들을 합한 것을 침범확률로 한다.

한편, 선수위치 분포가 Poisson분포이면 항로의 중앙에서 항로경계까지 등간격으로 계급간격을 정하여 먼저 선박과 항로경계와의 거리에 대한 평균  $\lambda$ 를 식(2·3)로 구한다.

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^l x_i f_i}{n} \quad (2 \cdot 3)$$

윗식에서  $l$ 은 계급의 갯수,  $x_i$ 는 계급값,  $f_i$ 는 빈도수,  $n$ 은 샘플링 갯수이다. 침범확률  $P_p$ 는 식(2·4)을 이용하여 구한다.

$$P_p = 1 - \sum_{q=0}^{\eta} \frac{e^{-\lambda} \lambda^q}{q!} \quad (2 \cdot 4)$$

여기서  $e$ 는 약 2.71828인 상수,  $\lambda$ 는 선박과 항로경계와의 거리에 대한 평균,  $q$ 는 0, 1, 2, ..., 되는 수,  $\eta$ 는 항로의 중앙에서 경계까지의 거리를 계급간격으로 나눈 몫에서 1를 뺀 값이다. 물론 여기서도 정규분포의 경우와 마찬가지로 침범확률은 선수위치와 선미위치에서 각각 구하여 더하는 것으로 하였다. 이들 확률은 그 값이 0.01이하로 작기때문에 분석하기가 곤란하므로 이 확률값을 상용대수를 취하여 분석에 이용하였다.

## 2.2 주관적 위험감지도 평가방법

주관적 위험감지도는 시뮬레이션을 실시하고 난 후 선장 개개인이 느끼는 어려움의 정도에 대하여 설문을 작성하도록 한다. 주관적 위험감지도에 관한 평가항목은 심적 부담도(stress level), 업무수행의 난이도(task difficulty), 선박의 제어도(vessel controllability), 업무 부담도(overall workload)이다.

평가항목을 분석하여 본 바 각 조선자가 작성하는 치는 거의 비슷하므로 이들 양을 대표값으로 나타낼 필요가 있는데 그 이유는 선박조종의 객관적인 조종위험도와 비교하기 쉽도록 하기 위함이다. 주관적 위험감지도의 대표값  $Se$ 는 식(2·5)와 같이 표시할 수 있다.

$$Se = (Sl \times Td \times Vc \times Owl)^{1/4} \quad (2 \cdot 5)$$

$$1 \leq Se \leq 9$$

여기서  $Sl$ 은 심적 부담도,  $Td$ 는 업무수행의 난이도,  $Vc$ 는 선박의 제어도,  $Owl$ 은 업무 부담도를 나타낸다. 주관적 위험감지도  $Se$ 는 1에서 9까지의 값을 취하며, 1에 가까울수록 조선자 개개인이 느끼는 조종상의 어려움이 작다는 것을 의미하고 9에 가까울수록 어려움이 크다는 것을 의미한다.

## 3. 시험

본 연구에서는 한국해기연수원의 선박조종 시뮬레이터로 시험을 실시하였으며 시험 참가자는 한국해기연수원에서 교육을 받고 있는 3년 이상의 실선경험이 있는 50명의 선장으로 하였다. 시험기간은 1993년 12월부터 1995년 2월까지이었다.

### 3.1 시험대상선박

본 연구의 시험모델 선박은 재화중량톤 60,000톤급인 만재상태인 벌크캐리어로서, 선박요목은 수선간장 232.6 미터, 선폭 38.1미터, 홀수 12.16미터, 방형비척계수 0.8이고, 침수표면적은 11,891.6 평방미터이다. 또한 프로펠러는 4개의 브레이드를 갖고 있는데 직경은 7.01미터, 피치 5.61미터, 피치비 0.8이며, 타의 면적은 50.91 평방미터, 최대타각 35도, 타면적비는 1/55.58이다. 이 선박은 1,100마력의 바우스러스트를 갖고 있다.

시험대상선박의 수학모델은 케이오프(CAORF, Computer Aids Operations Research Facility)에 의하여 개발되었으며 3-자유도의 운동특성을 갖고 있다.

### 3.2 시험대상 협수로 설계

본 연구에서 설정한 시험항로는 Fig. 1과 같이 항로폭이 균일하게 400미터로서, 진행방향으로 볼 때 첫구간은 침로 000° 인 직선항로로 길이가 3마일, 다음구간은 진행방향의 침로가 030°<sup>(12)</sup>인 곡선항로가 0.6마일, 마지막 구간은 침로 000° 인 직선항로가 2마일이다. 본 연구에서는 편의상 첫구간의 직선항로부분을 A구역, 다음의 곡선항로 구간을 B구역, 마지막 직선항로 구간을 C구역으로

각각 명명하였다.

시험항로의 환경조건은 주간으로 조류 2노트, 바람 20노트로 설정하였다. 편의상 조류의 방향과 풍향은 항상 일치하도록 하였으며, 조선상 나쁜 환경조건에 해당하는 좌현, 우현 및 선미방향에서 오는 것으로 설정하였다.

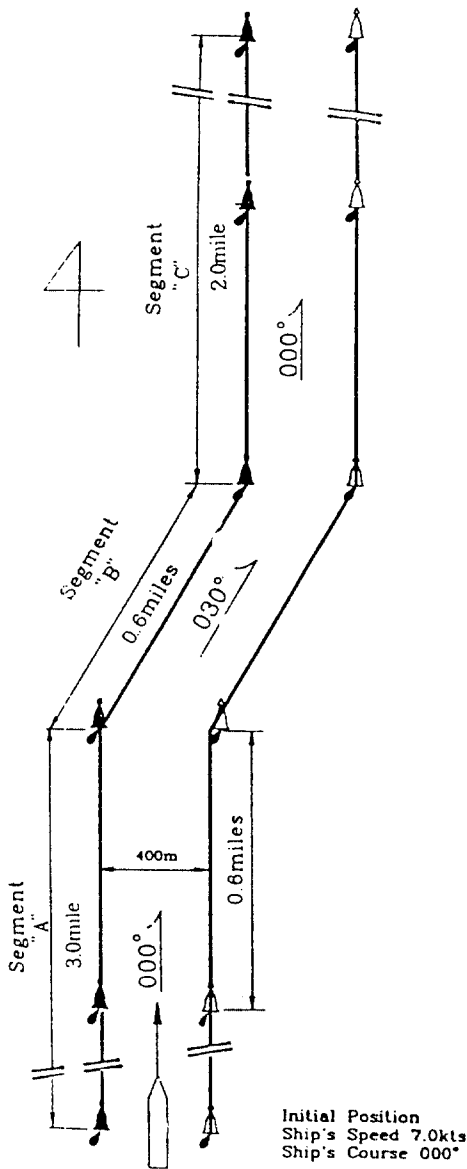


Fig. 1 Designed test channel.

### 3.3 조선자의 구성

본 연구를 위하여 선박조종 시뮬레이션에 참가자는 3년 이상의 실선경험이 있는 50명의 선장이며, 이들의 시뮬레이션 과정에는 실선경험이 있는 1명의 항해사와 해당자격을 갖춘 1명의 조타수를 동원하였다.

본 시험에 들어가기 전에 각 선장에게는 각 시나리오에 대하여 조류와 바람의 환경조건, 시험 선박의 항로상 초기위치와 속력 및 침로조건, 시험항로의 구조 및 부표의 배치 등에 관하여 충분히 숙지하도록 2차례 이상의 교육을 실시하였다.

본 시험중 항해사는 선장에게 필요한 항해정보를 제공하거나 선장의 명을 받아 기관사용 등의 필요조치를 하도록 하였으며, 조타수는 선장의 침로 변경명령이나 조타명령을 실선에서와 같이 수행하도록 하였다.

### 3.4 기초데이터 처리

본 논문에서는 조종위험도와 주관적 위험감지도를 각각 분석 평가하고 나아가 이들의 상관관계를 연구하는 목적이므로 선박이 한번 시험항로를 지날 때 선박의 위치를 자동적으로 기록하고 항로의 경계를 벗어날 확률을 제2장에서 기술한 바와 같은 방법으로 계산하여 조종위험도(manoeuvring risk)를 평가하고 하였다.

표본집단인 50명 전원에 대한 운항체적을 Fig. 2, Fig. 3, Fig. 4에 보이는 바와 같이 집단적으로 표시하고 필요한 계산을 수행함으로써 전체적 안전도 평가가 용이하도록 하였다. 단 Fig. 2는 조류와 바람이 모두 좌현방향에서 오는 경우를, Fig. 3은 조류와 바람이 모두 우현방향에서 오는 경우를, Fig. 4는 조류와 바람이 모두 선미방향에서 오는 경우를 각각 나타낸다.

주관적 위험감지도는 선장 개개인이 시험항로를 지나면서 느끼는 양으로서 조종위험도와 조종곤란도가 합쳐서 개인에 부과되는 양이라고 간주할 수 있다. 그러므로 이는 시험대상선박의 시뮬레이션이 끝난 후 선장에게 설문지 형식으로 작성하도록 하여 취합 하였다.<sup>(10)</sup> 그 평가항목은 심적 부담도(stress level), 업무수행의 난이도(task difficulty), 선박의 제어도(vessel controllability), 업무 부담도(overall workload)의 4개 항목으로 하고, 각각을 1~9까지 9등분하였다. 본 연구에 사용한 평가항목과 레이팅 스케일은 기존연구를 참고하였다.<sup>(3)</sup>

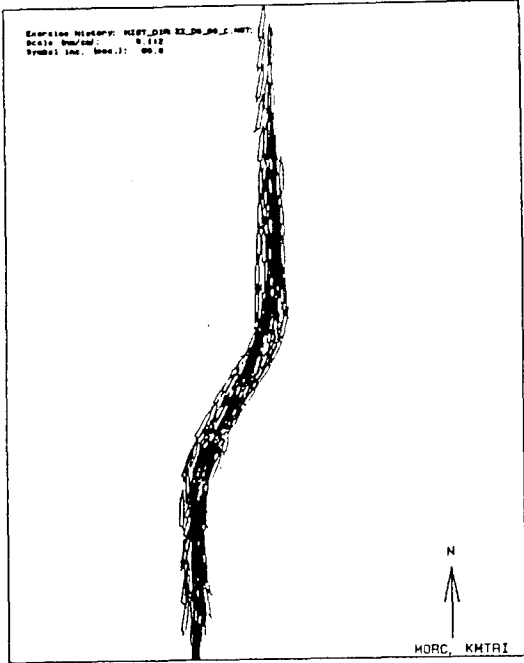


Fig. 2 Ship's composite tracks in case of portside cross current and wind

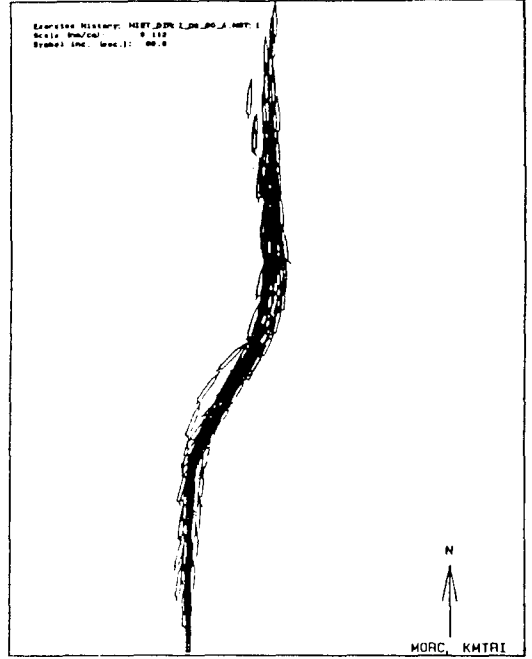


Fig. 4 Ship's composite tracks in case of stern current and wind

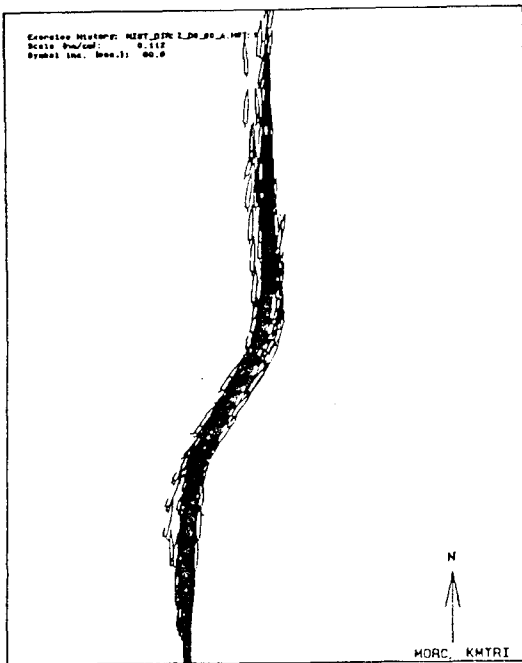


Fig. 3 Ship's composite tracks in case of starboardside cross current and wind

#### 4. 操船者의 主觀的 危險感知度와 操縱危險度の 相關關係

제2장의 설명과 같이 한 선박이 협수로를 통행한 후 이 선박이 가진 항로경계를 침범할 확률과 주관적 위험도는 아무리 같은 환경조건이라도 조선자에 따라 상당한 차이가 날 수있다. 이러한 점에 착안하여 조선자가 느끼는 주관적 위험감지도와 객관적인 조종위험도와의 상관관계를 살펴보고자 한다.

본 장에서는 50명의 선장을 대상으로 하여 실제로 조류와 바람의 방향을 바꾸어가면서 항행구역 별로 느끼는 선장들의 주관적위험감지도, 항행 구역별의 조종위험도를 각각 분석평가하고, 이들을 종합적으로 분석 평가한 결과에 관하여 기술하기로 한다.

##### 4.1 조종위험도와 주관적 위험감지도의 도식방법

본 연구에서 Fig. 1과 같이 A, B, C의 3 항행구역에서의 선박 통행상의 위험도를 평가하는 요소



들에 대하여 매 시험마다 선박의 위치 분포의 해석을 통하여 항로경계를 침범할 확률을 구하였다. 본 연구에서 말하는 선박 통항상의 조종위험도란 선박이 항로경계를 침범할 확률로서, 제2장에서 기술한 바와 같은 이론을 이용하여 확률을 구였다. 한편 주관적인 위험감지도의 평가항목인 심적 부담도, 업무수행의 난이도, 선박의 제어도 및 업무 부담도는 사전의 분석한 바에 따르면 서로 값이 거의 비슷하므로 식(2·5)로 정의되는 주관적 위험감지도로 표시하였다.

조류와 바람을 좌현에서 받을 때 A의 항행구역을 통과할 때를 예를 들어 주관적 위험감지도와 조종위험도를 Fig. 5에 나타내었다. 이들 그림의 횡축은 앞에서 기술한 조선자가 느끼는 종합적인 주관적 위험감지도의 평가치인  $Se$ 를 나타내며, 종축은 이때 조선자가 시뮬레이션을 수행하여 얻은 각각의 조종위험도(Maneuvering risk)  $P$ 를 플로팅한 것이다. 단  $P$ 값은 편의상 상용대수를 취하여 표시한다. 여기서 조종위험도  $P$ 는 항로경계를 침범하는 확률인데 기존 선박조종 시뮬레이터 연구에서는 항로의 경우 0.001 ( $\log P = -3$ )을 기준치로 좌초 여부를 평가하고 있다. 즉,  $P$ 가 0.001보다 크면 그 항로는 좌초 위험이 높은 것으로 보고 있다.<sup>(13)</sup>

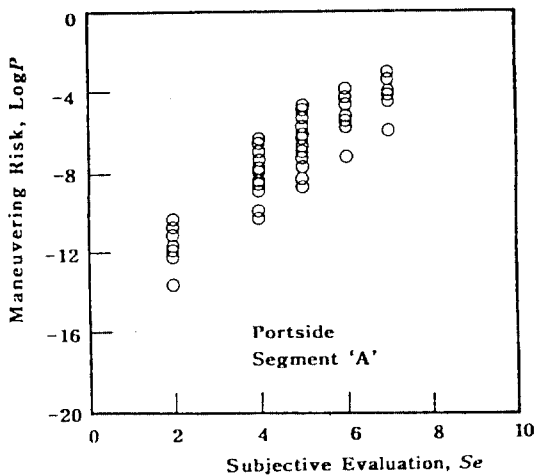


Fig. 5 Maneuvering risk distribution in case of the portside current & wind in segment 'A'

#### 4.2 주관적 위험감지도와 통항위험과의 상관관계

Fig. 5에서 보는 바와같이 주관적 위험감지도가 같아도 조종위험도는 각각 다르게 나타나고 있으며 그 분포는 정규분포와 비슷하다. 주관적 위험감지도와 조종위험도의 상관관계를 파악하기 위하여서는 동일한 주관적 위험감지도에 대한 조종위험도의 대표값을 구할 필요가 있다. 이 대표값은 조종위험도의 산술평균을 취하여 나타내기로 한다. 이하에 조종위험도와 주관적 위험감지도에 대하여 설명하기로 한다.

##### 4.2.1 조류와 바람을 좌현에서 받을 경우

Fig. 6, Fig. 7 및 Fig. 8은 조류와 바람의 외력을 동시에 좌현으로부터 받을 경우 항행구역 A, B, C의 분석결과를 나타낸다. 이들 그림에서 횡축은 주관적 위험감지도  $Se$ 를, 종축의 좌측은 조종위험도  $P$ 에 상용대수를 취한 값을 나타내었다. 또한  $\circ$ 은 실제의 관측치이고 실선은 회귀식으로 표시된 것이다.

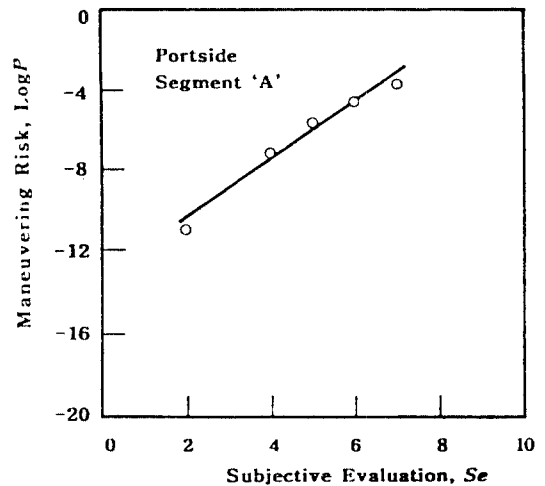


Fig. 6 Maneuvering risk in case of the portside current and wind in segment 'A'

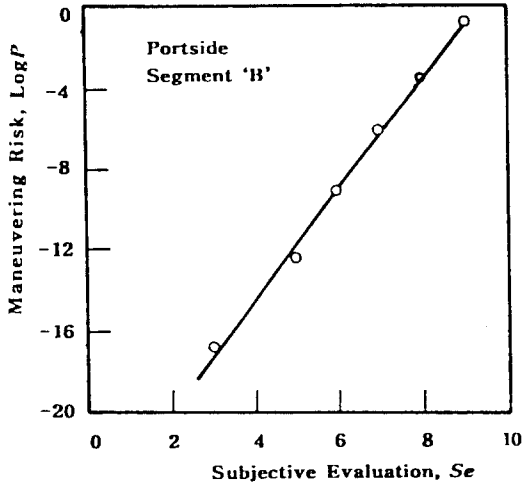


Fig. 7 Maneuvering risk in case of the portside current and wind in segment 'B'

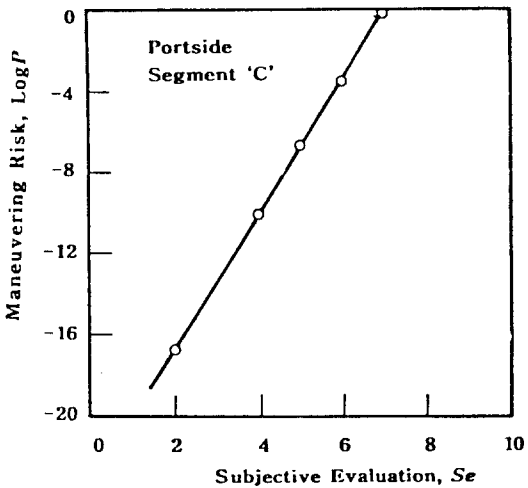


Fig. 8 Maneuvering risk in case of the portside current and wind in segment 'C'

먼저 A 구역에서는  $Se$  값이 증가할수록  $\text{Log } P$  가 증가하여  $Se$ 와  $\text{Log } P$ 는 강한 "+"의 상관관계에 있음을 나타낸다.  $Se$  값의 변화에 대한  $\text{Log } P$  값은 항행구역 A인 곳에서는 완만하게 변동하지만 곡선 항로인 B 구역 및 마지막 직선항로인 C 구역에서는  $Se$  값의 변동에 대하여  $\text{Log } P$ 가 급격하게 변동됨을 알 수 있다. 이는 주관적 위험감지도가 낮음에도 불구하고 좌초할 확률이 높음을 나타내고 있다.

#### 4.2.2 조류와 바람을 우현에서 받을 경우

Fig. 9, Fig. 10 및 Fig. 11은 조류와 바람의 외력을 동시에 우현으로부터 받을 경우 항행구역 A, B, C별의 분석결과를 각각 나타낸다. 이들 그림에서 전체적으로는  $Se$  값의 증가에 대하여  $\text{Log } P$ 의 증가율이 크고, 또한 굴곡항로인 B구역에서는  $\text{Log } P$  값이 -3.0을 넘어 좌초위험이 급격히 커진다.

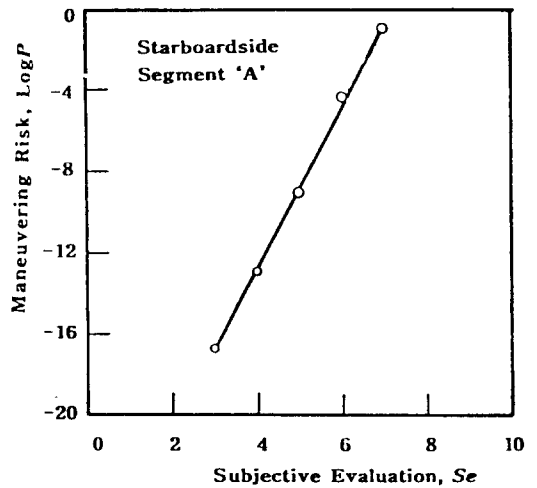


Fig. 9 Maneuvering risk in case of the starboard side current and wind in segment 'A'

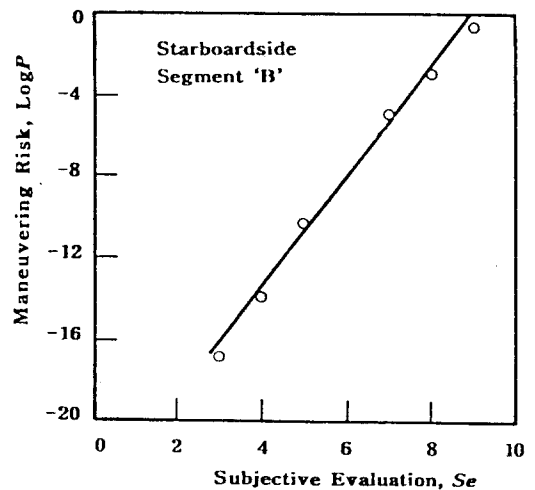


Fig. 10 Maneuvering risk in case of the starboard side current and wind in segment 'B'

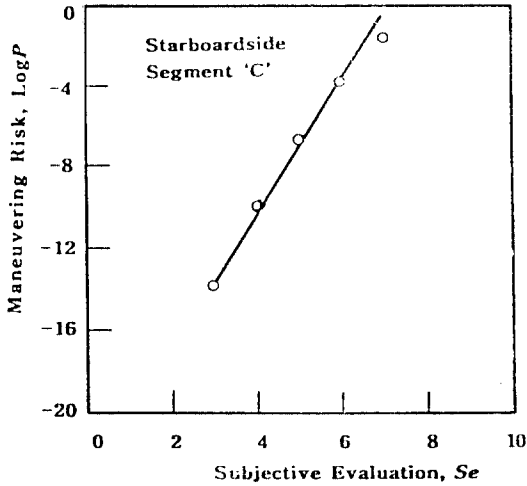


Fig. 11 Maneuvering risk in case of the starboard side current and wind in segment 'C'

다음으로 C 구역에서는  $\text{Log } P$ 값의 증가율은 커서  $Se=6.0$  정도에서  $\text{Log } P$ 가  $-3.0$ 을 넘어서 역시 좌초의 위험을 안고 있다. 이는 앞절의 좌현측 외력의 경우와 비슷한 경향을 나타내고 있다.

#### 4.2.3 조류와 바람을 선미에서 받을 경우

Fig. 12, Fig. 13 및 Fig. 14는 조류와 바람의 외력을 동시에 선미방향으로부터 받을 경우 항행구역 A, B, C별의 분석결과를 각각 나타낸다. 선미방향에서 외력을 받을 경우에는 좌현에서 오는 방향 및 우현에서 오는 방향의 경우에 비하여 주관적 위험감지도  $Se$ 값은 앙케이트 조사결과 낮았지만, 실제로 B구역 및 C구역에서  $\text{Log } P$ 값은 좌초의 위험치인  $-3.0$ 을 넘고 있음을 확인할 수 있다. 이는 일반적으로 협수역에서 대형 선박이 통항을 할 경우 선미로부터

외력을 받으면 조종성능이 저하하는데 기인한다고 판단된다.

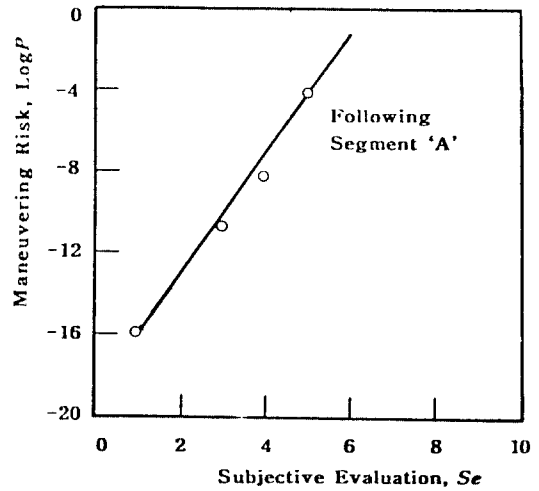


Fig. 12 Maneuvering risk in case of the stern current and wind in segment 'A'

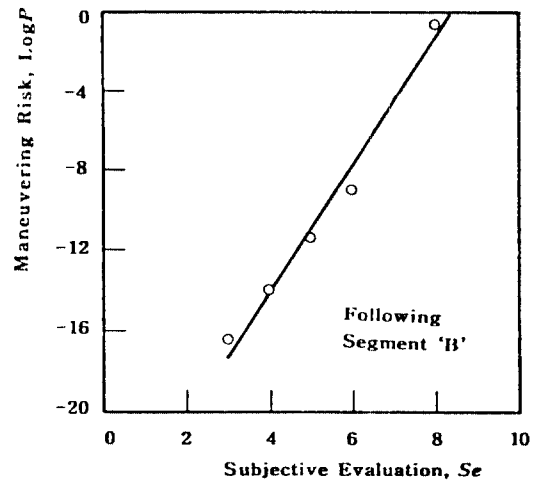


Fig. 13 Maneuvering risk in case of the stern current and wind in segment 'B'

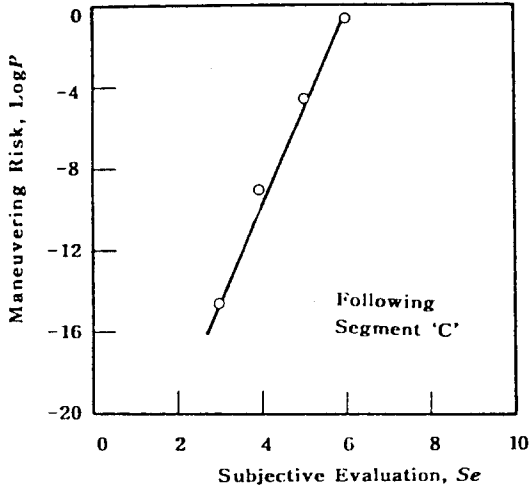


Fig. 14 Maneuvering risk in case of the stern current and wind in segment 'C'

## 5. 結 論

본 연구에서는 선박조종 시뮬레이터를 이용하여, 항로폭 400미터의 협수로를 설계하고, 조류와 바람이 동시에 외력으로서 작용하는 환경조건하에서 재화중량톤 60,000톤급의 대형 선박의 협수로 통항 시험을 하고 주관적 위험감지도와 조종 위험도를 비교·분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 대형선의 협수로 통항에서 조선자가 느끼는 심적 부담도, 업무수행의 난이도, 선박의 제어도 및 업무 부담도는 정량적 수치로 나타낼 수 있으며 이들의 수치는 서로 다른 환경조건에서도 대체적으로 비슷한 경향을 나타내었다. 이들의 대표치를 주관적 위험감지도로 종합하여 표현할 수 있다.

(2) 선박 조종시의 주관적 위험감지도와 조종 위험도와의 상관관계를 외부환경 조건별로 분석 평가할 수 있었으며 그 결과 주관적 위험감지도가 증대될수록 조종 위험도에 있어서 확률치는 증대되어 좌초의 위험이 높았으며 특히 A구역 및 B구역에서 우현 또는 선미방향의 외력이 작용하는 경우 더욱 급격히 증대함을 알았다.

(3) 대형선박의 협수로 통항과 관련하여 본 연구에서 개발한 주관적 위험감지도 및 조종 위험도

에 의해 안전성을 평가하는 기법은 실제로 선박조종 측면에서의 항만설계에 유효하게 적용 시킬 수 있다.

본 연구에서는 하나의 선종과 3가지의 외력 조건, 그리고 30°의 굴곡항로에 대하여 다루었으나 앞으로 다양한 선종, 외력조건, 굴곡도에 대하여 계속적인 연구가 필요하다.

## 參 考 文 獻

- [1] K. Williams et al. : "The Application of CAORF Simulation as a New Technology for the Determination of Dredging Requirements", CAORF 20-8104-02, 1982.
- [2] John M. O'Hara : "The Navigability of the Main Ship Channel in Mobile Harbor Deepening Project by Deep-Draft Vessels CAORF Investigation" CAORF 27-8333-02, 1984.
- [3] John M. O'Hara et al. : "An Investigation of the Relative Safety of Alternative Navigational System Designs for the New Sunshine Skyway Bridge", CAORF 26-8232-04, pp. 19~87, 1985.
- [4] Jane A. Conway : "AN EVALUATION OF THE EFFECT OF A BRIDGE-TUNNEL CONFIGURATION ON CHANNEL NAVIGABILITY", PROCEEDINGS OF SIXTH CAORF SYMPOSIUM, pp. B3-1~B3-12, 1985
- [5] George T. MacDonald : "MOBILE HARBOR, ALABAMA; A PRAGMATIC APPROACH TO THE DETERMINATION OF AN ACCEPTABLE CHANNEL DESIGN", PROCEEDINGS OF SIXTH CAORF SYMPOSIUM, pp. B5-1~B5-7, 1985.
- [6] 韓國海技硏修院 : "牙山工業基地 港灣施設 實施設設計(2次), 船舶操縱시뮬레이션篇", 船舶運航技術硏究所 報告書, 1991.
- [7] 韓國海技硏修院 : "海上新都市 船舶運航安全性

- Simulation 研究”, 船舶運航技術研究所 報告書, 1992.
- [ 8 ] 韓國海技研修院 : “光陽港 鑛石專用埠頭 船舶操縱 시뮬레이션 研究”, 船舶運航技術研究所 報告書, 1993.
- [ 9 ] 이동섭 等 : “아산항 계획 항로에서의 선박 통항의 안전성 평가 검토”, 韓國航海學會誌, 第18卷, 第2號, pp. 41~56, 1994.
- [10] 이동섭 等 : “선박통항 안전성에서의 주관적 평가의 정량화에 관한 기초연구”, 韓國航海學會誌, 第18卷, 第4號, pp. 1~9, 1994.
- [11] Witt F. G. : “Analysis of Simulated Maneuvers”, Proceedings of MARSIM'81, pp. A-12. 1-17, 1981.
- [12] 全日本海員組合 : “港灣의 安全”, 第3節, 水域施設, 1983.
- [13] Th. Elzinga & M.P. Bogaerts : “A Simulator Study for LNG Transport by Gas Carrier to Eemshaven, Netherlands”, Proceedings of MARSIM'84, pp. 249-258, 1984.