

狹水路 通航에서 操船者의 主觀的 危險感知도와 通航危險과의 相關關係에 關한 研究

李 東 燮¹⁾, 尹 点 東²⁾

A Study on the Correlation between Shiphandler's Subjective Evaluation and Transit Risk in Narrow Channel

Dong-Sup Lee , Jeom-Dong Yun

Abstract

This study is a part of the risk management in planning a channel or in verifying the adequacy of existing channel.

Generally the assessment of the safety of a ship's transit in a narrow channel is evaluated from maneuvering risk with some chances of running aground or the maneuvering difficulty of shiphandlers.

In this study, the real time and full-mission shiphandling simulator of the Korea Marine Training and Research Institute (KMTRI) was utilized as the tool for analyzing data acquired from ship's maneuvering.

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.

Analysis of the data obtained from the simulation concludes that ;

- (1) The frequencies of subjective evaluation shiphandlers are similar

1) 한국해양대학교대학원 해사수송과학과 박사과정 선박운용전공

2) 한국해양대학교 해사대학 운항시스템공학과 교수

irrespective of environmental conditions and they are able to be represented as shiphandler's subjective evaluation.

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

- ① The relation between maneuvering risk and difficulty a shiphandler's subjective evaluation is roughly linear.
- ② As the degree of maneuvering risk and maneuvering difficulty increases, the shiphandler's stress increases sharply near the curvature area of the designed channel.
- ③ The transit risk is the least under the environmental condition of cross current and wind coming from portside.
- ④ In the area of the curvature of the designed channel, both maneuvering risk and maneuvering difficulty increase sharply with the danger of running aground under the environmental condition of current and wind coming from the stern.

It will provide the basis for programming of assessment of various data of ship's maneuvering in harbour areas and further researches on maneuvering ships in various channels under various environmental conditions will be necessary for making any firm conclusion for each special case.

第1章 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 대형오염 사고로 이어지고 있다.

이와 같은 사고를 사전에 방지하기 위하여서는 여러가지 사전, 사후적 대책이 강구되고 있지만 가장 핵심이 되는 것은 선박의 안전운항을 충분히 확보할 수 있도록 항만을 설계하고, 선박을 안전하게 조종하는 것일 것이다. 그러므로 항만 건설시에는 그 계획단계에서 건조될 부두의 제반 설계인사를 고려하고, 특히 출입항 선박의 동향안전성에 관한 지밀한 검토가 있어야 한다. 이를 위해 선진외국에서는 일찍부터 선박조종 시뮬레이터가 이용되어 왔으며,¹⁾²⁾³⁾ 우리나라의 경우에도 최근 아산만과 광양항의 항만과 항로의 설계시에 이를 적용한 실적이 있다.⁴⁾⁵⁾⁶⁾ 항만에의 진입항로나 수로를 결정하는 방법으로는 여러개의 항로를 만들어 개개의 항로에 대하여 시뮬레이션을 수행하고 그 결과를 분석하여 선박운항의 안전성과 경제성이 좋은 항로를 선택하는 방법을 취한다.

선박조종 시뮬레이션의 시험결과를 분석하는 방법으로서는 조종결과상의 객관적인 위험도(본 연구에서는 '통항위험도'라 한다.)와 조선자가 조종중에 주관적으로 느끼는 부담감(본 연구에서는 '조선자의 주관적 위험감지도'라 한다.)을 통계적으로 처리하는 방법을 취하고 있다. 이때 통항위험도와 조종곤란도로 나누어 생각할 수 있다. 조선자의 주관적 위험감지도는 시뮬레이션중 조선자 개개인이 느끼는 위험도로 표시되고 있다.

그러나 이들의 주관적 평가에 관한 연구는 각기 분리되어 이루어 졌고 그들의 상관관계를 종합적으로 평가한 연구는 전혀 없다. 즉 조종위험도 및 조종곤란도가 실제 조선자의 주관적 위험감지도에 주는 영향이나 그 관계는 어떠한 것인가와 조선자가 주관적으로 느끼는 위험감지도의 값이 어느 정도 일때 그 항로는 실제로 얼마만큼 위험한 것인지는 연구된 바가 없는 실정이다.

따라서 본 연구는 협수로에 있어서 조선자의 주관적인 위험감지도와 통항위험도를 각각 정량적으로 평가하고, 나아가 이들의 상관관계를 종합적으로 분석 평가함으로써 종합적인 선박통항의 안전성 평가기준을 개발하는 것을 그 목적으로 하고 있다.

第2章 船舶通航의 安全性 評價에 關한 理論

협수로에서 선박통항의 안전성을 검토하기 위하여서는 숙달된 조선자가 실제의 선박을 조종하여 수로를 통과하는 시험적인 방법을 반복하여 결정하는

것이 가장 이상이지만 이러한 일은 실행에 옮기기 곤란하다. 그러므로 선박 조종 시뮬레이터를 이용하여 숙달된 조종자가 실제의 조종환경조건과 같은 상태에서 선박조종을 반복 실시한 다음 조종선박의 운동궤적을 분석 검토하여 조종의 안전성을 평가하는 것이 최상의 방법이 되고 있다.

2.1 통항위험도의 평가방법

통항위험도중 조종위험도는 선박통항의 안전성 평가중 가장 중요한 것으로 임의 선박이 항로를 통항하는 경우 그 선박이 항로경계를 침범할 확률로써 평가하는 것이다. 침범확률이란 선박이 한번 지날 때 항로경계를 벗어날 확률을 말한다. 구체적으로는 국부분석(local analysis), 길이방향분석(in-length analysis)으로 나눌 수 있다.⁽⁷⁾

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 확률변수에서 항로경계에 해당하는 값 ξ 를 구한다.⁽⁷⁾

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

여기서 μ 는 선박의 외연과 항로경계와의 거리에 대한 평균, σ 는 선박과 항로경계와의 거리에 대한 표준편차, Cw 는 협수로의 폭을 말한다. ξ 값을 이용한 항로경계를 침범할 확률 P_n 은 다음식과 같이 구할 수 있다.

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

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 λ 를 식(2·3)으로 구한다.

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

윗식에서 l 은 계급의 갯수, χ_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, λ 는 선박과 항로경계와의 거리에 대한 평균, q 는 0, 1, 2, ... , 되는 수, η 는 항로의 중앙에서 경계까지의 거리를 계급간격으로 나눈 몫에서 1를 뺀 값이다. 이들 확률은 그 값이 0.01이하로 작기때문에 분석하기가 곤란하여 이 확률값을 상용대수를 취하여 분석에 이용하였다.

조종곤란도는 일반적으로 요잉특성, 스웨프트패스(swept path), 타의 사용량으로 표시되므로 본 연구에서도 이대로 선택하였다. 한편 이들 각변수의 단위가 다르므로 종합하여 평가하기가 곤란하기 때문에 각 변수의 최대치를 1로 하여 이들 변수의 대표값과 주관적 위험감지도와 비교 분석할 수 있도록 하였다. 평균과 변동량을 나타내는 변수로 표시되는 조종곤란도 md_a 와 md_v 는 식(2·5)와 식(2·6)과 같이 변수의 대표값으로 표시할 수 있다.

$$md_a = \left(\frac{a_{vi}}{a_{vmax}} \times \frac{a_{spi}}{a_{spmax}} \times \frac{a_{rai}}{a_{ramax}} \right)^{1/3} \quad (2 \cdot 5)$$

$$0 \leq md_a \leq 1$$

$$md_v = \left(\frac{\Delta_{hi}}{\Delta_{hmax}} \times \frac{\Delta_{vi}}{\Delta_{vmax}} \times \frac{\Delta_{spi}}{\Delta_{spmax}} \times \frac{\Delta_{rai}}{\Delta_{ramax}} \right)^{1/4} \quad (2 \cdot 6)$$

$$0 \leq md_v \leq 1$$

여기서 a_{vi} , a_{spi} , a_{rai} 는 시험대상선박이 어떤 구역을 통항할 때 매 샘플링 위치에서의 평균요레이트, 평균스웨프트패스, 평균사용타각을 나타내고, Δ_{hi} , Δ_{vi} , Δ_{spi} , Δ_{rai} 는 샘플링 위치에서의 각각의 변동량을 나타내고 있다. 첨자 max 는 각각의 최대치를 각각 나타내고, 첨자 i 는 시뮬레이션의 순번을 나타내는데, 이는 본 시험에 참가하는 선장의 일련번호에 해당한다. 조종곤란도 md_a , md_v 는 다같이 조종곤란도를 표현하고 있으므로 편의상 식(2·7)로 바꾸어 분석

에 사용하기로 한다.

$$md = (md_a \times md_v)^{1/2}$$

$$0 \leq md \leq 1 \quad \text{-----}(2 \cdot 7)$$

조종곤란도 md 는 0에서 1까지의 값을 취하며, 0에 가까울수록 선박을 쉽게 제어할 수 있고 1에 가까울수록 선박을 제어하기가 어렵다는 것을 나타내고 있다.

2.2 조선자의 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, Sl), 업무수행의 난이도(task difficulty, Td), 선박의 제어도(vessel controllability, Vc), 업무 부담도(overall workload, Owl)이다.

이들 양을 대표값으로 나타낼 필요가 있는데 그 이유는 선박조종의 객관적인 조종위험도 및 조종곤란도와 비교하기 쉽도록 하기 위함이다. 주관적 위험감지도 Se 는 식(2·8)과 같이 표시할 수 있다.

$$Se = (Sl \times Td \times Vc \times Owl)^{1/4} \quad \text{-----}(2 \cdot 8)$$

$$1 \leq Se \leq 9$$

第3章 試 驗

3.1 시험대상선박 및 협수로 설계

주관적 위험감지도를 정량화하기 위하여 실시한 시뮬레이션에 대하여 기술한다. 시뮬레이션에 이용된 시험대상선박은 재화중량 60,000톤급벌크케리어로서, 수선간장 232.6 미터, 선폭 38.1미터, 흘수 12.16 미터, 방형비척계수 0.8이고, 한국해기연수원에서 교육을 받고 있는 3년 이상의 실선경험이 있는 50명

의 선장이 참가하였다. 본 연구에서 설정한 시험항로는 항로폭이 균일하게 400미터로서, 진행방향으로 볼 때 첫구간은 침로 000° 인 직선항로로 길이가 3마일, 다음구간은 진행방향의 침로가 030° 인 곡선항로가 0.6마일, 마지막 구간은 침로 000° 인 직선항로가 2마일이다. 이들을 본 연구에서는 편의상 첫구간의 직선항로부분을 A구역, 다음의 곡선항로 구간을 B구역, 마지막 직선항로 구간을 C구역으로 각각 명명하였다.

환경조건은 조류와 바람을 좌현쪽에서 받는 경우, 조류와 바람을 우현쪽에서 받는 경우, 조류와 바람을 모두 선미에서 받는 경우로 설정하고 조류는 2노트, 바람은 20노트의 크기로 하였으며, 시뮬레이션 항행시간은 주간으로 하고 선박의 속력은 7노트로 유지하도록 하였다.

3.2 선박조종 시뮬레이터 및 데이터 베이스 구축

본 연구를 수행하기 위한 선박조종 시뮬레이터 시스템의 하드웨어장치는 주컴퓨터, 인스트럭터콘솔, 시각장치, 청각장치, 횡요장치 및 선박제어장치로 구성되어 있으며, 선교/조종장치로서는 선교, 항해장비, 추진장치 및 정박설비로, 기록/평가시스템은 피드백장치 및 관련소프트웨어로 구성되어 있다. 선박조종 시뮬레이터는 시험항로에 대한 이차원적인 해안선과 삼차원적인 지형을 구비하여 외부 풍경에 대한 시각관측이 가능하고 이들을 선교장비에 실제적인 움직임으로서 나타낼 수 있도록 되어 있다. 시험수역에 필요한 데이터 베이스는 시각 데이터 베이스, 수심과 조류의 데이터 베이스, 레이더 데이터 베이스, 상황표시 및 플로팅 데이터 베이스로 되어 있다.

3.3 기초데이터 처리

본 논문에서는 조종위험도와 조종곤란도 및 주관적 위험감지도 등을 각각 분석 평가하고 나아가 이들의 상관관계를 연구하였다. 본 연구에서는 선박이 시험항로를 지날 때 항계를 벗어날 확률을 계산하여 조종위험도(manoeuvring risk)를 평가하였고, 조종곤란도(manoeuvring difficulty)는 항로를 지날 때의 선박을 조종하는데 필요한 제어량으로서 본 연구에서는 요잉특성(yawing characteristics), 스윕트패스(swept path) 및 타 사용량으로부터 계산하였다.

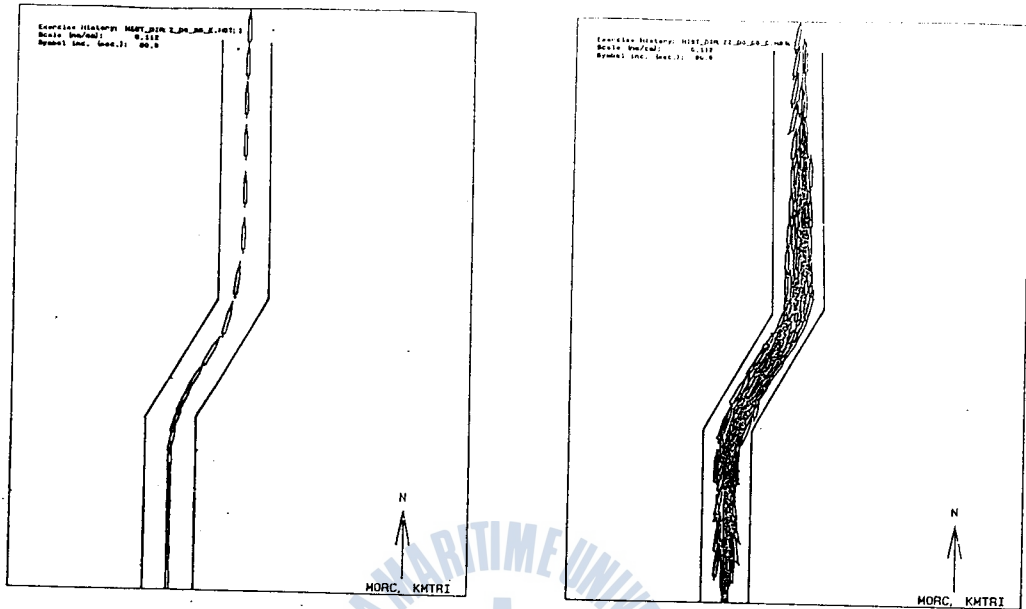


Fig.3.1 One example of ship's tracks Fig.3.2 Ship's composite tracks

Fig.3.1는 실제로 선장이 설정된 항로에서 선박조종 시뮬레이터를 이용하여 시험선박을 초기위치에서 이동시킨 궤적의 한 예를 보인다. 조종중 선박의 항행상황을 자동적으로 기록함으로써 조종위험도 평가가 가능하게 된다. 또한 표본집단인 50명 선장 전원에 대한 운항궤적을 Fig.3.2와 같이 집단적으로 표시하고 필요한 계산을 수행함으로써 전체적 안전도 평가가 용이하도록 하였다. 선장이 실제로 시험대상 협수로에서 조선자의 주관적 위험감지도를 조사하기 위하여 본 연구에서 채용한 설문의 평가항목은 심적 부담도(stress level), 업무수행의 난이도(task difficulty), 선박의 제어도(vessel controllability), 업무부담도(overall workload)의 4개 항목으로 하고, 각각을 1~9까지 9등분하였다. 평가항목과 레이팅 스케일은 기존연구를 참고하였다.⁽³⁾

第4章 操船者의 主觀的 危險感知度와 通航危險과의 相關關係

선박이 협수로를 통항한 후 그 결과에 대하여 평가할 수 있는 것은 통항위험도인데 이를 평가하는 것은 어려운 문제는 아니다. 그러나 아무리 같은 환

경조건이라도 조선자 자신이 느끼는 것은 상당한 차이가 날 수 있다. 이러한 점에 착안하여 조선자가 느끼는 주관적 위험감지도와 객관적인 통항위험도의 상관관계를 살펴보고자 한다.

4.1 조선자의 주관적 위험감지도와 통항위험과의 상관관계

여기서는 조류 및 바람의 방향, 항행 구역별로 조선자의 주관적 위험감지도와 실제로 시뮬레이션을 수행한 결과 얻어진 통항위험도와와의 상관관계에 대하여 기술한다.

조선자의 주관적 위험감지도 Se 는 심적 부담도 Sl , 업무수행의 난이도 Td , 선박의 제어도 Vc 및 업무 부담도 Owl 을 이용하여 정량적으로 구하였다.

다음으로 조종위험도 $\text{Log } P$ 와 조종곤란도 md 는 시뮬레이션 결과로부터 정량적으로 구하였다.

4.1.1 조류와 바람을 좌현에서 받을 경우

Fig.4.1 ~ Fig.4.3은 조류와 바람의 외력을 동시에 좌현으로부터 받을 경우 항행구역 A, B, C별의 분석결과를 나타낸다. 이들 그림에서 횡축은 조선자의 주관적 위험감지도 Se 를, 종축의 좌측은 조종위험도 P 에 상용대수를 취한 값을 나타내었으며, 우측은 조종곤란도 md 를 동시에 나타내었다. 또한 실선은 조종위험도 $\text{Log } P$ 와 조종곤란도 md 의 모델 값이고, ○는 조종위험도, △는 조종곤란도의 관측치의 대표 값이다.

먼저 A 구역에서는 Se 값이 증가할수록 $\text{Log } P$ 및 md 값도 거의 비슷한 경향으로 증가하여 Se 와 $\text{Log } P$ 및 md 가 강한 “+”의 상관관계에 있음을 나타낸다. 전체적으로는 Se 값의 변화에 대한 $\text{Log } P$ 의 변화는 유사하지만, md 값은 항행구역이 곡선향로인 B 구역 및 마지막 직선향로인 C 구역에서는 Se 값의 변동에 대하여 md 가 완만하게 변동됨을 알 수 있다. 이는 조선자의 주관적 위험감지도가 높으면서도 조종곤란도가 낮을 때 좌초할 확률이 높음을 나타내고 있다.

4.1.2 조류와 바람을 우현에서 받을 경우

Fig.4.4~Fig.4.6은 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 md 의 증가율보다는 크므로 조종위험도가 증가할때 조종곤란도는 완만하게 증가함을 알 수 있다. 또한 굴곡항로인 B구역에서는 $\text{Log } P$ 값이 -3.0 을 넘어⁽⁹⁾ 좌초위험이 급격히 커지는 범위에서 조종곤란도는 완만하게 증가한다.

다음으로 C 구역에서는 전반적으로는 조종곤란도는 타 구역에 비하여 낮

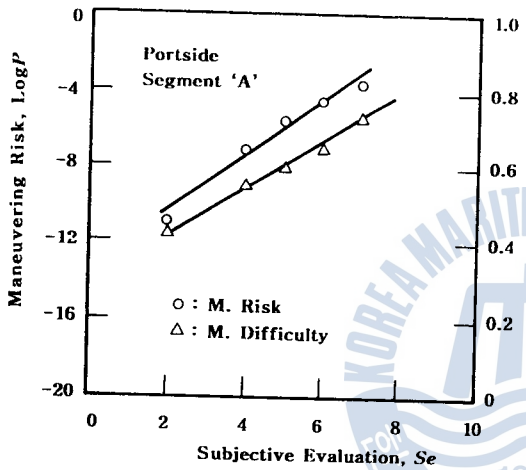


Fig.4.1 Transit risk in case of the portside current & wind in seg.'A'

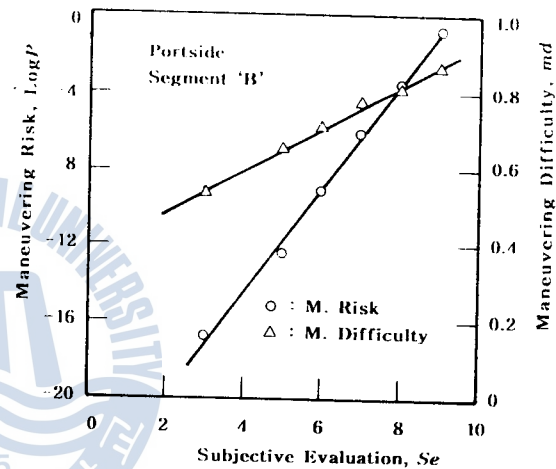


Fig.4.2 Transit risk in case of the portside current & wind in seg.'B'

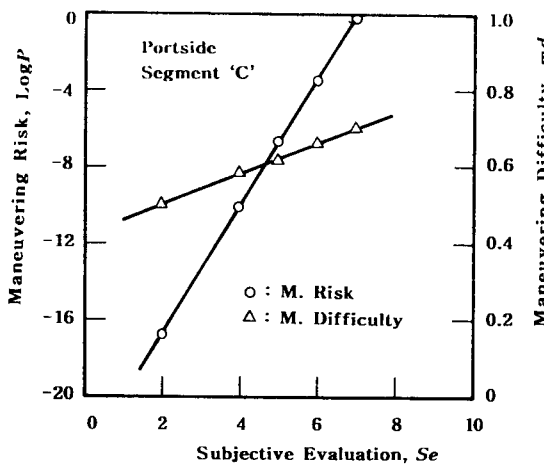


Fig.4.3 Transit risk in case of the portside current & wind in seg.'C'

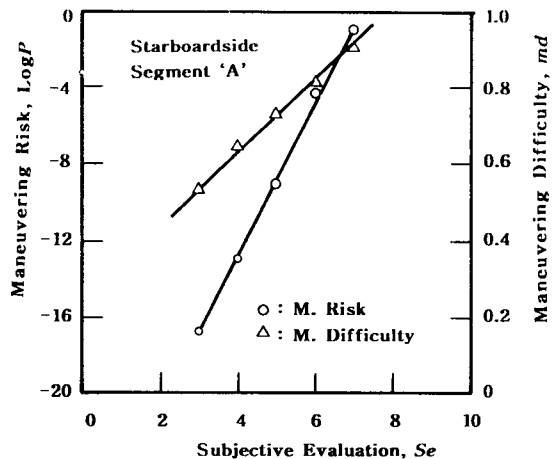


Fig.4.4 Transit risk in case of the stb'dside current & wind in seg.'A'

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

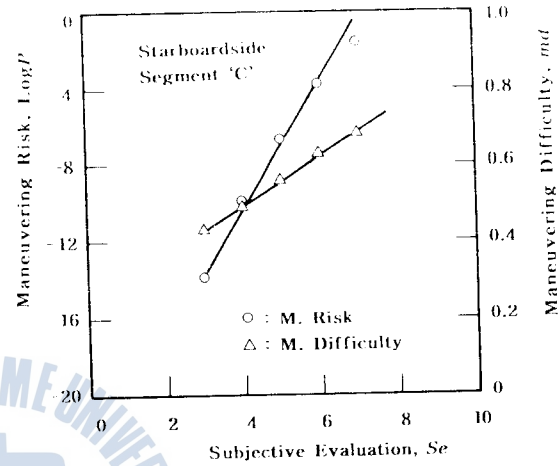
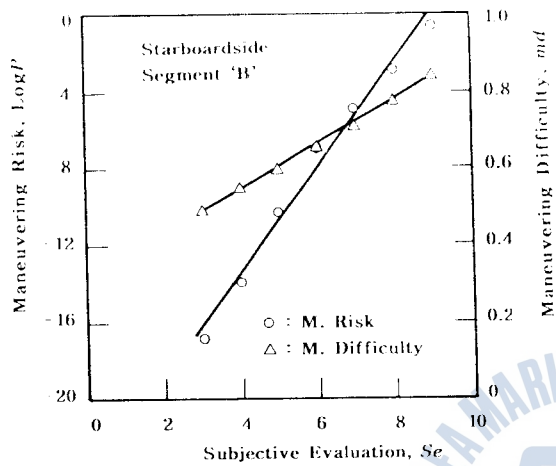


Fig.4.5 Transit risk in case of the stb'dside current & wind in seg.'B'

Fig.4.6 Transit risk in case of the stb'dside current & wind in seg.'C'

4.1.3 조류와 바람을 선미에서 받을 경우

Fig.4.7~Fig.4.9는 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 조선자의 주관적 위험감지도 Se 값은 앙케이트 조사결과 낮았지만, 실제로 B구역 및 C구역에서 $\text{Log } P$ 값은 좌초의 위험치인 3.0을 넘고 있음을 확인할 수 있다. 이는 일반적으로 협수로에서 대형 선박이 통항을 할 경우 선미로부터 외력을 받으면 조종성능이 저하하는데 기인한다고 판단된다.

4.1.4 굴곡항로에서의 통항위험도

본 절에서는 설정한 항로중 가장 어려운 굴곡항로에 대하여 통항위험도의 상관관계를 고찰하기로 한다. Fig. 4.10에서 보는 바와 같이 굴곡항로 B에서 조종위험도 값 $\text{Log } P$ 를 조종곤란도 md 와 비교하여 보면, 좌현 및 우현으로

부터의 외력이 작용하는 경우에 비하여 선미에서 작용하는 외력인 경우가 md 값이 크며 또 그것의 증가에 대한 $\text{Log } P$ 의 기울기가 과대하므로 실제로 협수로 항행에서 가장 어려운 외부환경이 됨을 확인하였다.

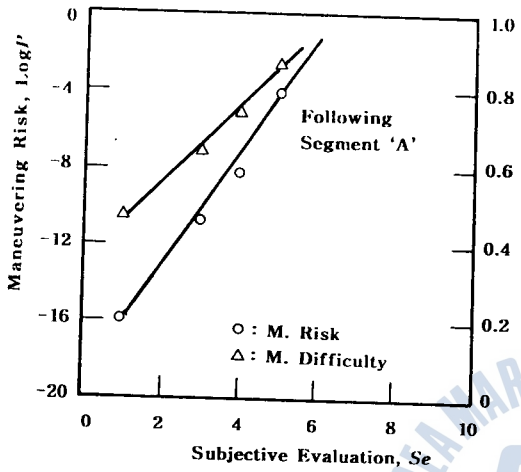


Fig.4.7 Transit risk in case of the stern current & wind in seg.'A'

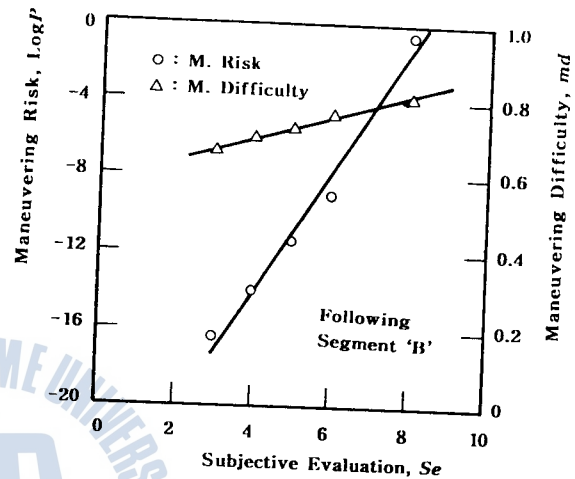


Fig.4.8 Transit risk in case of the stern current & wind in seg.'B'

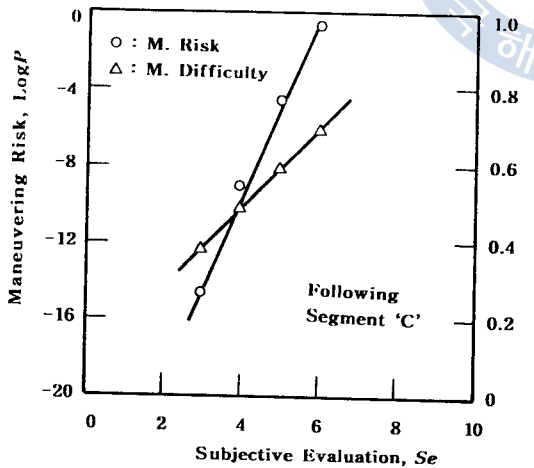


Fig.4.9 Transit risk in case of the stern current & wind in seg.'C'

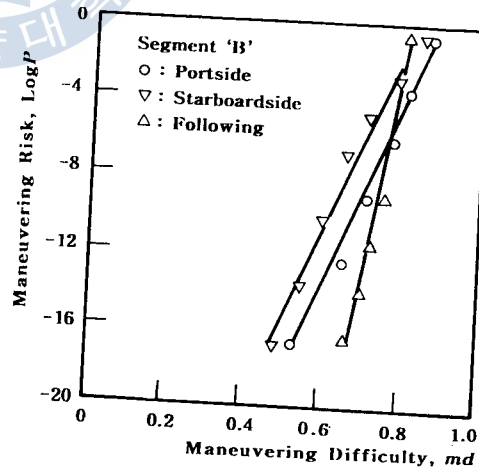


Fig.4.10 Correlation between maneuvering risk & difficulty in channel 'B'

第5章 結 論

본 연구에서는 선박조종 시뮬레이터를 이용하여 대형 선박의 협수로 통항에 대한 선박조종 시험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 대형선의 협수로 통항에서 조선자가 느끼는 심적 부담도, 업무수행의 난이도, 선박제어도 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 조선자의 주관적 위험감지도와 통항위험도와의 상관관계를 외부환경 조건별로 분석 평가할 수 있었으며 그 결과 첫째, 조선자의 주관적 위험감지도가 증대될수록 조종위험도에 있어서 확률치는 증대되어 좌초의 위험을 갖는 경우가 있었으며, 특히 본 연구에서 설정한 A구역 및 B구역에서 우현 또는 선미방향의 외력이 작용하는 경우 더욱 급격히 증대되었다. 둘째, 조종곤란도는 일반적으로 주관적 위험감지도가 증대될수록 증가하였으며, 선미방향에서 오는 외력의 경우에는 개인별 편차가 매우 큼을 알았다.

(3) 본 연구에서 설정한 시험항로에서는 좌현 외력의 경우가 통항위험도가 가장 적었으며, 우현 또는 선미방향에서 오는 외력의 경우에는 통항위험도 증대와 더불어 주관적 위험감지도가 현저히 증대되어 좌초의 확률이 높아짐을 알았다. 또한 굴곡항로에서도 마찬가지로 나타났다.

(4) 대형선박의 협수로 통항과 관련하여 본 연구에서 개발한 조선자의 주관적 위험감지도 및 통항위험도에 의해 안전성을 평가하는 기법은 실제로 선박 조종측면에서의 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) 韓國海技研修院 : "牙山工業基地 港灣施設 實施設計(2次), 船舶操縱시뮬레이션篇", 船舶運航技術研究所 報告書, 1991.
- (5) 韓國海技研修院 : "光陽港 鑽石專用埠頭 船舶操縱 시뮬레이션 研究", 船舶運航技術研究所 報告書, 1993.
- (6) 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.
- (7) Witt F. G. : "Analysis of Simulated Maneuvers", Proceedings of MARSIM'81, pp.A-12. 1-17, 1981.
- (8) 全日本海員組合 : "港灣の安全", 第3節, 水域施設, 1983.
- (9) 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.