

본 학회지는 학술진흥재단과 한국과학기술단체총연합회의 일부재정지원에 의해 발간되었음

선박통항 안전성에서의 주관적 평가의 정량화에 관한 기초연구

이 동 섭* · 윤 점 동** · 정 태 권**

A Study on the Quantification of Master Subjective
Evaluation in the Safety of Ship's Transit

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

〈 목 차 〉

Abstract

1. 서 론

2. 실험 요소

3. 조선의 안전성 평가와 주관적 평가
방법

4. 시뮬레이션 결과 및 분석

5. 결 론

참고문헌

Abstract

Assessment of the safety of ship's transit in the narrow channel consist of the maneuvering safety determined by the chance of running aground, the maneuvering difficulty determined by ship's workload and master's subjective evaluation. To examine the relation between master's subjective evaluation and maneuvering safety, this utilizes a real-time and full-mission shiphandling simulator in the Korea Marine Training & Research Institutes(KMTRI). The vessel chosen was 60,000-ton, Panamax-type ship.

The findings regarding master's subjective evaluation were as follows:

- Relation between master's subjective evaluation and common logarithms of stranding probability is linear.
- Stranding probability with more than 0.001 is master's subjective evaluation with more than 5.

* 정회원, 한국해기연수원

** 정회원, 한국해양대학교, 해사대학

1. 서 론

근년 우리나라에서는 산업 발전에 따라 새로운 항만 설계가 많이 이뤄지고 있고, 또 기존의 항만에 있어서도 선박이 대형화가 되고 있으므로 이에 대한 설계가 많이 요구되고 있다. 또 미국의 플로리다주에서 대형선과 다리 교각과의 충돌사고, 알래스카에서의 원유선 좌초사고 등과 같이 대규모 해난사고가 발생한 경우에는 자연과 사회에 대한 영향을 주고 있다.

따라서 새로운 항만의 설계나 기존 항만을 확충할 때에는 선박 조선의 입장에서 본 객관적인 안전성 평가가 꼭 필요하다 하겠다. 이 경우 선박 조종 시뮬레이터는 가장 효율적인 장비가 된다.

선박 조종 시뮬레이터를 이용한 선박 통항의 안전성 평가에 대한 기존의 연구를 살펴보면 다음과 같다.

- ① 선박의 조종 특성에 따른 잠재 수역을 이용한 연구¹⁾
- ② Fuzzy 회귀모델로써 입항 조선의 곤란도 평가²⁾
- ③ 표준 조선 모델을 이용한 안전성 평가³⁾
- ④ 조선의 곤란도와 조선의 안전성을 이용한 안전성 평가⁴⁾
- ⑤ 조선의 안전, 조선의 곤란도, 조선자의 주관성을 조합한 안전성 평가⁵⁾⁶⁾

위에 열거한 연구는 선박의 조종성 측면만을 고려한 안전성 평가에 대한 연구(①, ③, ④)와 조선자의 주관적 측면만을 고려한 연구(②)이다. 다만 ⑤의 연구가 조선자의 주관적 평가를 고려한 종합적인 분석에 관한 연구이나 이들 연구 역시 조선자의 주관적 평가와 조선의 안전성을 별도로 다룬 것에 불과하다.

따라서 본 연구에서는 충돌 또는 좌초할 확률로 표시되는 조선의 안전성과 조선자 개개인이 통항시 느끼는 주관적 평가와의 관계를 살펴보고 이 주관적인 평가를 정량화 할 수 있는 길을 찾아 보고자 한다.

본 연구에서는 한국해기연수원에서 보유하고 있는 풀미션 선박조종 시뮬레이터(Full-mission

ship-handling simulator)를 이용하고 조선자는 한국해기연수원에서 선박 조종 시뮬레이터 교육을 받고 있는 실선 경험이 충분히 있는 34명의 선장을 대상으로 하였다. 각 조선자가 이용하는 실험 구역은 항로폭이 400m이고 길이는 4.0마일이며, 환경조건으로서는 바람은 우현 정황 25노트이고 조류는 우현 정황 1.5노트이다. 각 선장이 시뮬레이션이 끝난후 작성한 주관적 평가와 조선의 안전도를 비교분석하여 주관적 평가의 정량화의 기초 자료를 마련한다.

2. 실험요소

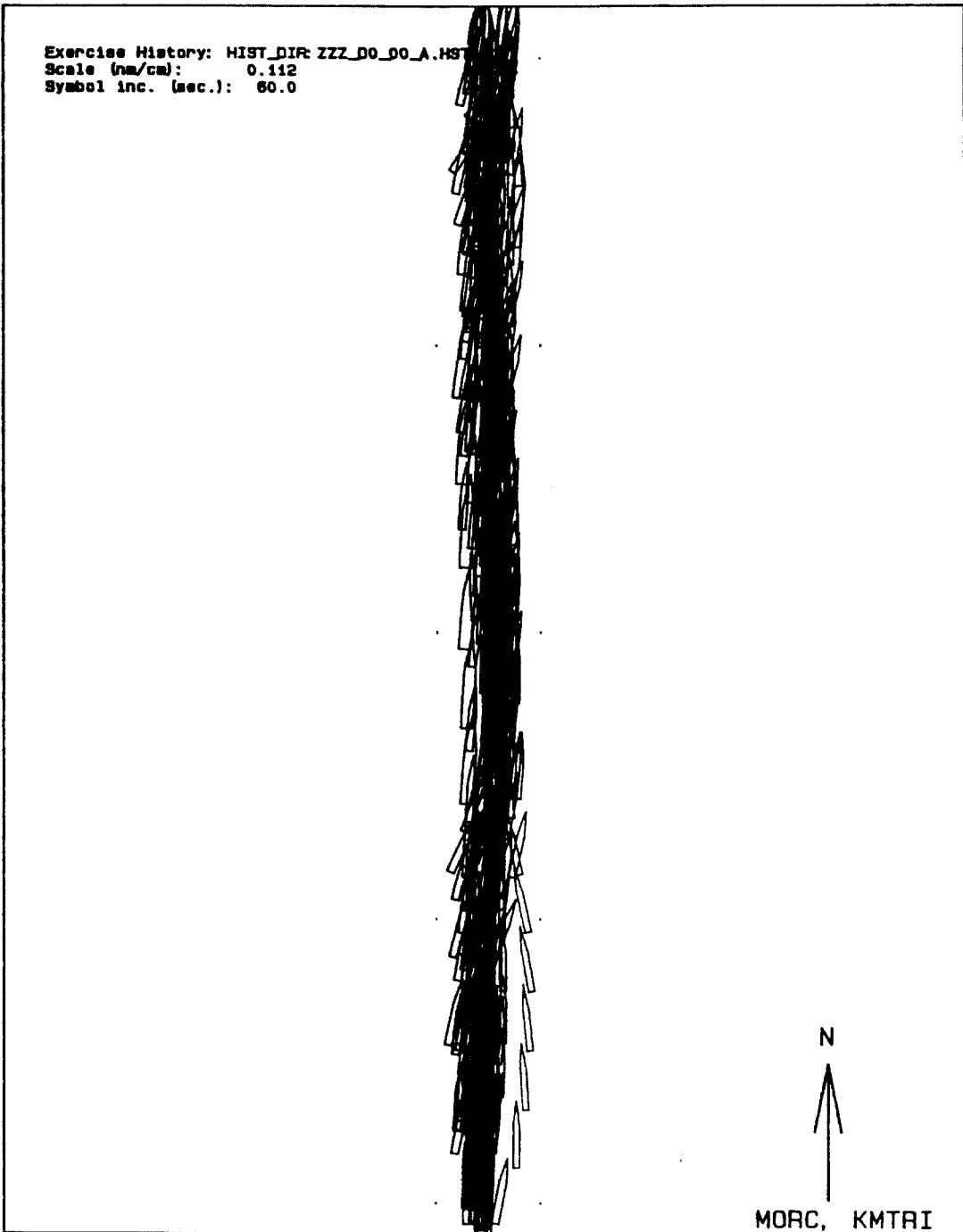
조선의 안전도와 주관적 평가와의 관계를 분석하기 위한 실험요소는 다음과 같다.

2.1 선박조종 시뮬레이터

한국해기연수원 소유의 풀미션 시뮬레이터로써 모델 선박은 파나맥스형을 이용하였다. 이 파나맥스형은 명세는 <Table 1>과 같다.

<Table 1> 60,000-ton Panamax type ship's particulars

Items	Contents
DWT	60,000 TON
LOA	254.0 METER
LBP	240.0 METER
BEAM	32.2 METER
DRAFT	11.6 METER
ROTATION DIRECTION	RIGHTHAND
MAX SPEED AHEAD	18 KNOTS
MAX SHAFT RPM AHEAD	120 RPM
MAX SPEED ASTERN	10 KNOTS
MAX SHAFT RPM ASTERN	90 RPM
NUMBER OF RUDDER	1 SET
RUDDER RESPONSE TIME	26 SECONDS
BOW THRUSTER	1,200 HP



<Fig. 1> Gaming Area

각 선장은 실선에서의 조종과 같이 실시간 시뮬레이션을 직접 실시한다. 이 시뮬레이션하는 중에 30초 간격으로 선박의 위치와 그때의 선박의 침로를 샘플링한다.

2.2 시뮬레이션 지역과 환경 조건

시뮬레이션에 사용한 시뮬이션 지역은 가상으로 설정 하였으며 그 상세는 <Fig. 1>과 같다. 항로폭은 400미터이고 길이는 4.0마일이며 부표의 간격은 0.6마일이다.

시뮬레이션 환경은 바람 동풍 25노트, 조류는 서향류 1.5노트이고, 통항 방법은 남쪽에서 북쪽으로 통항하는 것으로 한다.

- 바람 조건 : E'ly 25Kts
- 조류 조건 : W'ly 1.5Kts
- 주야 조건 : 주간
- 통항 방법 : 남쪽에서 북쪽으로

3. 조선의 안전성 평가와 주관적 평가 방법

3.1 조선의 안전성 평가 방법

본 연구에서 말하는 조선의 안전성 평가란 선박 통항의 안전성 평가중 가장 중요한 것으로, 임의 선박이 항로를 통항하는 경우 그 선박이 항로를 벗어날 확률로써 평가하는 방법을 말한다. 본 연구에서 사용한 방법은 스융트패스 분석(swept-path analysis)과 연속분석(In-length measure)을 이용하였다. 그 이유는 선박은 외력의 영향으로 비스듬하게 지나고 있으므로 선수나 선미 끝단이 항로 경계를 벗어나게 된다. 선체의 중심 위치를 기준으로 한 선박의 분포를 사용하여 좌초 확률을 구하게 되면 실제와는 많은 차이가 있다. 따라서 선박 양 끝단의 위치의 분포를 사용하는 것이 타당하다. 또 임의 선박의 위치는 연속적이거나 이는 서로 독립적이기 때문에 샘플링 수를 증가시키면 선박 위치의 모집단과 거의 차이가 없으므로 확률을 보다 정확하게 구할 수 있

다. 따라서 연속분석법을 이용하였다.

본 연구에서는 임의 선박의 위치 분포(실제로는 선수, 선미 위치 분포)를 30초 간격으로 샘플링하여 그 분포가 정규분포인지 아니면 프와송분포인지를 K-S test로 검정하여 해당 분포를 결정하였다.

이 분포가 정규분포이면 (1)식을 이용하여 z값을 구한다.⁷⁾

$$z = \frac{\frac{1}{2} \text{channelwidth} - \mu}{\sigma} \quad (1)$$

여기서 μ 는 평균, σ 는 표준편차를 말한다.

이 z값을 이용하여 좌초확률을 구한다. 이때 좌초확률은 선미 위치와 선수 위치 분포에서 좌초확률을 각각 구하여 더한다. 이 z 값을 이용하여 확률을 구할 때에는 수치계산을 이용하였다.

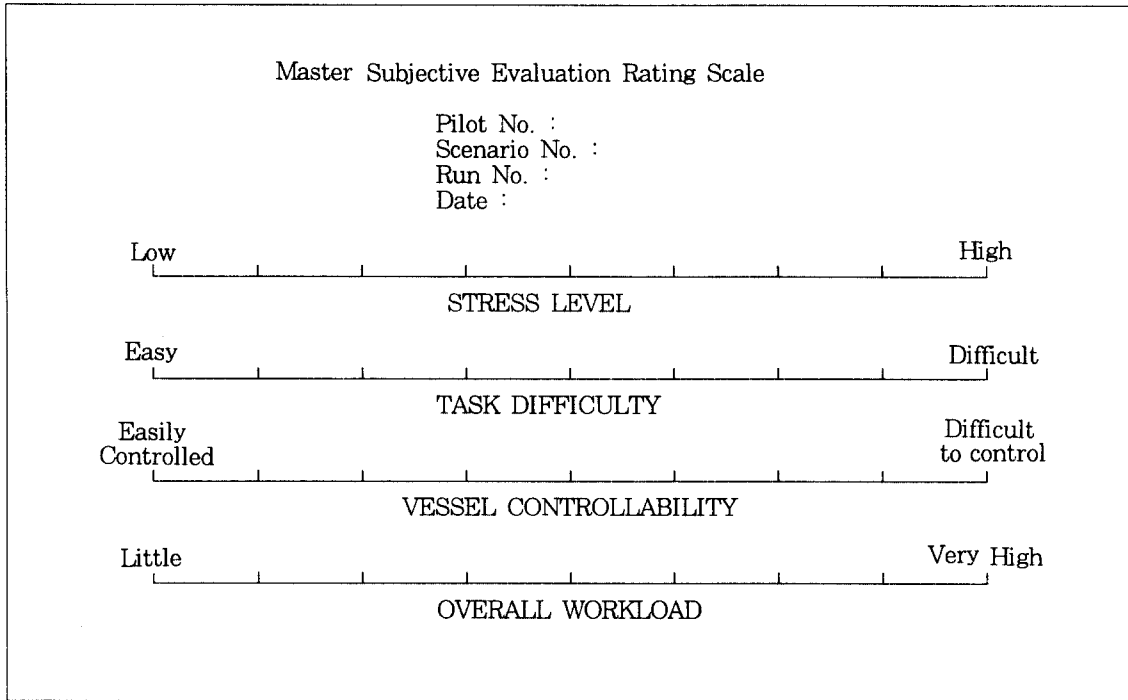
한편, 프와송 분포인 경우는 계급 간격(여기서는 항로의 중앙을 기준으로 등간격으로 나눈 경우 그 간격)을 정하여 평균 λ 를 구하고 또 항로폭의 반절에 해당되는 계급수 x 를 가지고 식(2)를 이용하여 누적 확률을 구한다.

$$P = 1 - \sum_{x \leq k} \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!} \quad (2)$$

여기서 P는 좌초확률, λ 는 평균, x 는 계급의 수, k는 항로의 반절에 해당하는 계급의 수를 말한다 물론 여기서도 정규분포의 경우와 마찬가지로 좌초확률은 선수 위치와 선미 위치 분포에서의 좌초확률을 각각 구하여 더한다.

3.2 주관적 평가

주관적 평가는 시뮬레이션을 실시하고 난 후 선장 개개인이 느끼는 조선상의 어려움 정도에 대하여 설문을 작성하도록 한다. 주관적 항목은 <Fig. 2>와 같이 4개로 하고 그 척도는 9로 한다. 이 척도를 9로 한 이유는 평가에 대한 연속성을 어느 정도 얻기 위한 것이다. 주관적 평가 항목은 심적 부담도(stress level), 일의 곤란도(task difficulty), 선박의 조종성(vessel controllability), 전체적인 업무량(overall workload)이다.



〈Fig. 2〉 Subjective Evaluation Rating Scale

4. 시뮬레이션 결과 및 분석

34명의 선장이 시뮬레이션을 실행하고 난 후 조선의 안전도와 주관적 평가를 그림으로 나타낸 그림이 각각 〈Fig. 3〉, 〈Fig. 5〉, 〈Fig. 7〉, 〈Fig. 9〉이다. 또 〈Fig. 4〉, 〈Fig. 6〉, 〈Fig. 8〉, 〈Fig. 10〉은 각각 좌초확률이 0.001이상되는 부분을 확대하여 나타낸 것이다.

이들 그림에서 x축인 확률은 상용대수로 표시하여 나타내었다. y축은 각각 심적 부담도(stress level), 일의 곤란도(task difficulty), 선박의 조종성(vessel controllability), 전체적인 업무량(overall workload)이 된다. 그림에서 보듯이 좌초 확률의 상용대수치와 각 주관적 평가요소 간의 관계는 선형으로 근사화 시킬 수 있으므로 이를 (3)식과 같이 모델을 가정한다.

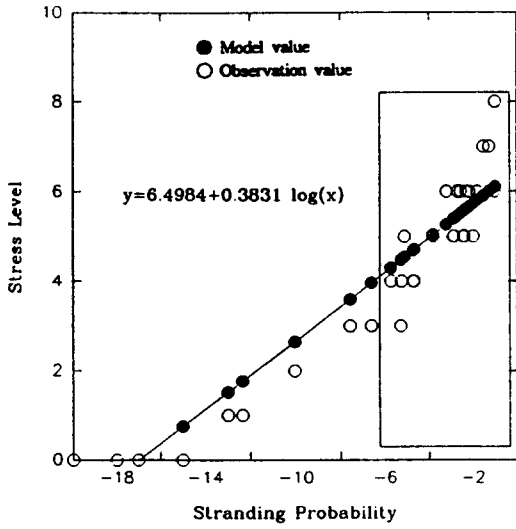
$$y = A + B \log(x) \quad (3)$$

여기서 x 는 좌초할 확률, a, b 는 계수, y 는 주관적 평가량이다.

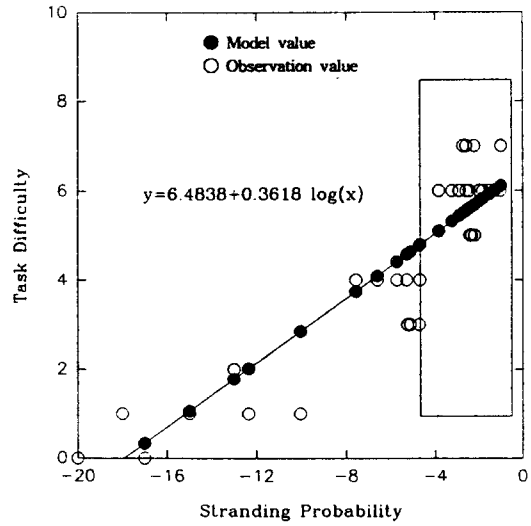
(3)식을 커브피트(curve fit)하여 계수를 구하면 〈Table 2〉와 같다. 〈Table 2〉를 보면 계수 A는 6.1559~6.5904의 범위이고 계수 B는 0.3611~0.3837의 범위로서 그 차이가 크지 않음을 알 수 있다.

〈Table 2〉 Coefficient of linear model in subjective evaluation

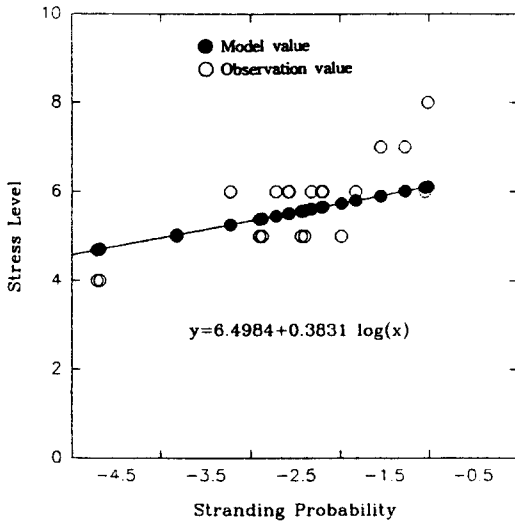
Item of Subjective evaluation	Coeff. of A	Coeff. of B
Stress level	6.4984	0.3831
Task difficulty	6.4838	0.3618
Vessel controllability	6.5904	0.3837
Overall workload	6.1559	0.3611



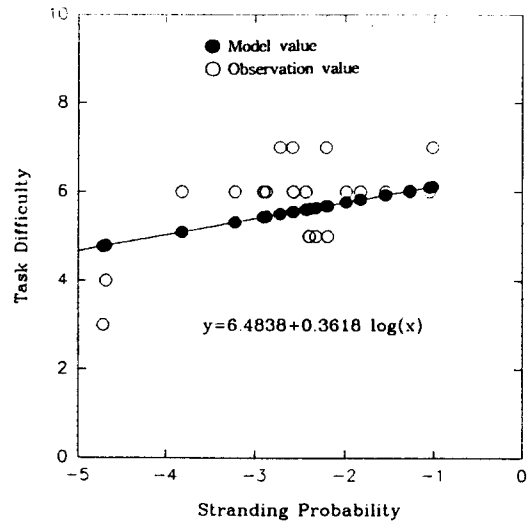
〈Fig. 3〉 Stress level of master subjective evaluation(1)



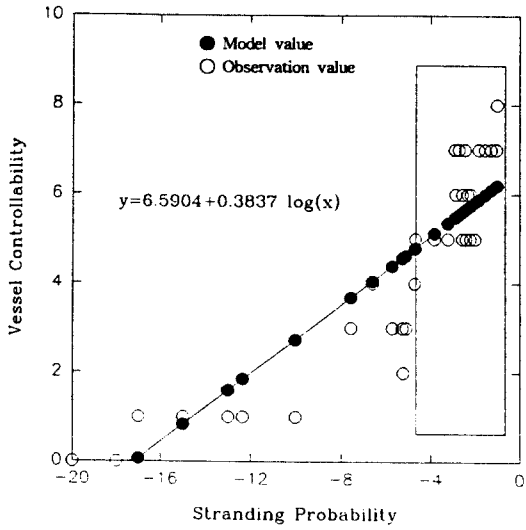
〈Fig. 5〉 Task difficulty of master subjective evaluation(1)



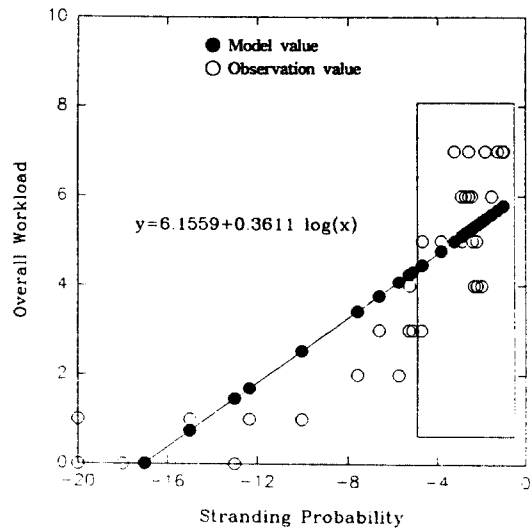
〈Fig. 4〉 Stress level of master subjective evaluation(2)



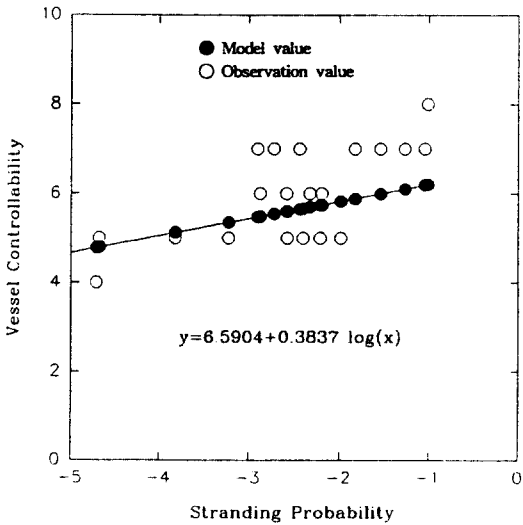
〈Fig. 6〉 Task difficulty of master subjective evaluation(2)



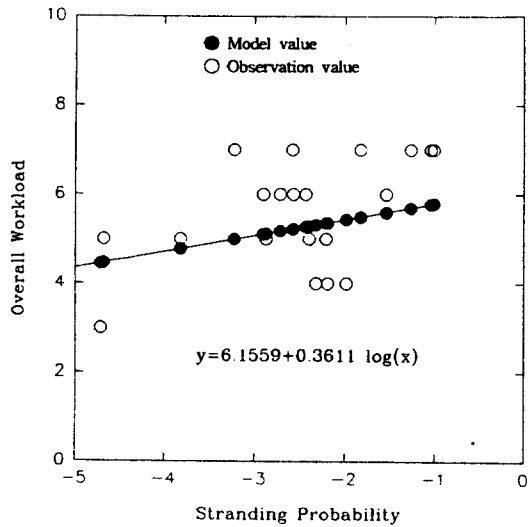
〈Fig. 7〉 Vessel controllability of master subjective evaluation(1)



〈Fig. 9〉 Overall workload of master subjective evaluation(1)



〈Fig. 8〉 Vessel controllability of master subjective evaluation(2)



〈Fig. 10〉 Overall workload of master subjective evaluation(2)

항로의 경우 좌초 확률을 0.001로⁸⁾ 한계를 정한다고 가정하고 좌초확률 0.001에서의 주관적 평가를 나타낸 표가 <Table 3>이다.

이 표를 보면 선형 근사 모델 값은 모두 5로 나타나 있고 선장들이 실제 느끼는 정도는 5내지 6으로 나타나고 있다. 따라서 주관적 평가 항목이 5 이상이면 좌초 확률이 0.001이라 할 수 있다.

<Table 3> Subjective evaluation at stranding probability 0.001

Value	Stress Level	Task difficulty	Vessel controlability	Overall workload
Model	5	5	5	5
Observation	6	6	5	6

한편 <Fig. 4>, <Fig. 6>, <Fig. 8>, <Fig. 10>을 보면 좌초 확률이 0.001 이상인 경우는 조선자 34명중 16명으로 전체의 47%를 차지하고 있다. 또 주관적 평가에서 5 이상의 어려움을 느끼는 조선자의 수는 각각 심적 부담도(stress level)가 14명으로 41%, 일의 곤란도(task difficulty)는 15명으로 44%, 선박의 조종성(vessel controlability)은 16명으로 47%, 전체적인 업무량(overall workload)은 14명으로 41%가 되어 전체적인 주관적 평가의 어려움 정도는 41%~47%를 차지하고 있다. 따라서 본 연구의 환경하에서는 조선상 위험이 있음을 알 수 있다.

5. 결 론

선박 통항의 안전성에서의 주관적 평가의 정량화를 하기 위한 기초 연구로서 폭 400m, 길이 4.0마일, 부표간의 간격 0.6마일인 시뮬레이션 구역을 만들어 바람 우현 정황 25노트, 조류 우현 정황 1.5노트인 환경으로 실시간 시뮬레이션을 34명의 선장이 자기 실행하였다. 그 결과를 30초 간격으로 샘플링하고 시뮬레이션 실행후 작성한 주관적 평가를 비교 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

① 좌초 확률을 상용대수로 취하여 주관적 평가의 항목과 비교 하여 보면 선형으로 근사할 수 있었다.

② 좌초 확률이 0.001 이상일 경우 주관적 평가의 항목은 모두 5이상 이 되었다. 따라서 주관적 평가도가 5이상이면 좌초 확률이 0.001 이상임을 알 수 있었다.

③ 좌초 확률이 0.001 이상인 조선자는 실행자의 47%를 차지 하고 있었다. 주관적 평가에서 5 이상의 어려움을 느끼는 조선자의 수도 41%~47%로 높게 나타 나고 있다. 따라서 본 연구와 같은 정황방향의 바람과 조류를 받는 환경에서는 조선상 위험이 있음을 알 수 있었다.

본연구에서는 직선 항로와 정황의 바람과 조류의 환경으로 한정하여 실시하였으나 앞으로 굴곡 항로 및 다양한 환경 조건에 대한 주관적 평가의 정량화에 관한 연구가 계속 이루어져야 할 것으로 본다.

참 고 문 헌

- 1) 井上欣三, '操船의安全評價に關する基礎的研究', 日本航海學會論文集, 第79號, 1988
- 2) 中村, 富久尾, 原潔, 'フアジイ回歸モデルによる入港操船困難度評價方法', 日本航海學會論文集, 第82號, 1988
- 3) 中村紳也, 石岡靖, 郭璧奎, 小瀬邦治, '水域施設における船舶操船の安全性評價に關する研究', 日本航海學會論文集, 第88號, 1992
- 4) 郭璧奎, '出入港操船の安全性評價に關する研究', 日本航海學會論文集, 第89號, 1993
- 5) CAORF RESEARCH METHODOLOGY (Task-K-0216-12), 1987
- 6) CAORF, 'AN OVERVIEW of CAORF RESEARCH DATA ANALYSIS AND MODEL SEVALIDATION PERFORMANCE MEASURES'(Task-K-0216-11), 1987
- 7) Witt, F.G.J., 'Analysis of Simulated Manuevers', Proceedings of MARSIM '81, pp.

A12.1-17, 1981

- 8) Th. Elzinga, M.P. Bogaerts., 'A Simulator Study for LNG Transport by GAS Carrier

to Eemshaven, the Netherlands', Proceedings of MARSIM '84, PP.247~258,1984