

# 階層分析法에 의한 船舶 接離岸 安全性的 評價方案

具 滋 允\* · 李 哲 榮\*\* · 禹 柄 久\* · 全 相 燁\*

A Study on the evaluation of the safety of berthing maneuver  
by the Analytic Hierarchy Process

*Ja-Yun Koo\* · Cheol-Yeong Lee\*\* · Byung-Goo Woo\* · Sang-Yup Jun\**

## 〈 목 차 〉

Abstract	3.1 接離岸 安全性 評價모델의 構成
1. 序論	3.2 評價項目的 相對比較 評價值
2. 階層分析法	3.3 接岸 安全性 評價모델의 評價 結果
2.1 階層分析法과 相對比較行列	4. 結論
2.2 整合度の 評價	參考文獻
3. 階層分析法을 이용한 船舶의 接離岸 安全性 評價	

## Abstract

On developing port system, the performance tests of system in relation to ship maneuver generally consists of the three parts: the channel transit, the manoeuvring in a turning basin and the docking/undocking.

The quantifications of risk of an accident has priviously been difficult due to the low occurrence of accidents relative to the number of transits. Additionally, accident statistics could not be related port system because of the large number of factors contributing to the accident, such as human error, equipment failure, visibility, light, traffic, etc.

In case of the channel transit, "Relative Risk Factor(RRF)" or "Relative Risk Factor for Meeting Traffic" was proposed as the measures derived to quantify the relative risk of accident by M.W. Smith. This factor measure the tracking performance, the turning performance and the passing performance at meeting traffic.

\* 정회원, 한국해기연수원

\*\* 정회원, 한국해양대학교

On the other hand, the safety of berthing maneuver is not measured with a few evaluating factors as controlled due to complex controllabilities such as steering, engine, side thrusters or tugs. This work, therefore, aims to propose the evaluating measure by the Analytic Hierarchy Process(AHP). Six experimental scenarios were established under the various environmental conditions as independent variables. In every simulation, the difficulty of maneuver was scored by captain and compared with AHP scores. The results show almost same and from which the weights of eight evaluating factors could be fixed. Additionally, the limit value of relative factor in berthing safety to six scenarios could be estimated to 0.11.

## 1. 序 論

港灣 시스템의 設計時에 있어서 기본적인 船舶 操縱 實驗은 다음 3가지 要素 즉, 航路 通航(the channel transit), 旋回場에서의 操縱(the manoeuvring in a turning basin) 및 接離岸(the docking and undocking)을 항상 고려하고 있다. 이들 實驗은 항상 두가지 주목적을 추구하는 바, 첫째는 固定物標, 航路標識 또는 通航船과 衝突되지 않고, 航路 境界를 침범하지 않으며, 船舶의 操縱性能을 상실하지 않도록 船舶을 操舵하는 安全性(safety)이며, 나머지 한가지는 가능한 한 가장 효율적인 運航을 수행토록 하는 效率性(efficiency)이다.<sup>1)</sup>

航路의 安全性과 效率性(이하 이 兩者를 “安全性”이라 통칭함.)을 定量的으로 評價하기 위한 技法의 하나로 Smith 등은 相對危險要素(Relative Risk Factor: RRF) 또는 通航船 遭遇時 相對危險要素(Relative Risk Factor for Meeting Traffic: RRFMT)가 주로 이용되고 있다.<sup>2)</sup> 이의 基本 概念은 事故의 危險도와 航路 安全性의 相關關係를 조사하기 위한 것인데, 실제의 경우 通航 回數에 비해 事故 發生率이 너무 낮으므로 이들 關係를 定量化한다는 것은 어려운 일이며, 또한 事故의 原因이 人的 過失, 設備의 缺陷, 視界不良, 燈火의 不適切, 交通量의 暴走 등 복합적인 경우가 일반적이므로 特定要素와의 相關關係를 규명한다는 것은 용이하지 않다. 따라서 事故의 相對的인 危險을 定量化하기 위하여 특정 상황하에서 船體의 한

부분이 航路 境界를 침범할 確率을 推定하므로써 상대적으로 그 航路의 危險性을 推論하고자 하는 것이다. 즉, RRF가 바로 坐礁의 確率과 比例하고, RRF의 變化는 坐礁의 실질적인 確率의 變化에 比例한다는 것이며, 通航船이 있는 경우는 이의 概念이 확장된 RRFMT의 尺度가 추가로 제안되고 있어, 航路上의 通航 安全性 評價要素인 針路維持性能(Tracking performance), 旋回性能(Turning performance) 및 他船과의 通航性能(Passing performance) 등이 대부분 計測되어질 수 있다.

이와 반면에 旋回場에서의 操縱을 포함한 操縱 水域(Manoeuving area)에서의 船舶 接離岸은 沿岸航行 또는 넓은 水面에서의 操縱이 아닌 관계로 6次元( $x, y, \psi, u, v, r$ )의 制御가 요구되고, 이들의 制御는 航路上의 航行時 操舵에 의한 Tracking 問題로부터 操舵, 엔진, 船首尾 스텔러 및 曳船 등의 複合的인 制御에 의한 Regulator 問題이므로, 이들의 制御에 의한 船舶의 操縱結果가 몇 개의 評價項目에 의해 接離岸 安全性이 評價되어 질 수 없다. 예를 들면, 外力의 증가시 먼저 船舶의 操縱性能이 크게 나타나고, 이에 따라 船舶의 制御性能은 그 크기가 크게 증가되지 않지만 일정 수준을 넘어서면 船舶의 制御性能이 나쁘게 나타나게 될 것이다.

따라서, 接離岸 操船에 대한 安全性을 評價하는 研究들중 中村紳也 등은 퍼지 回歸모델에 의한 入港操船 困難度를 評價하였는 바,<sup>3)</sup> 本 論文에서는 操縱水域에서의 船舶 接離岸 安全性 評價에 대한 尺度를 보다 具體化하기 위하여 시뮬레이션된 接

離岸 實驗設計 시나리오에 대하여 階層分析法 (Analytic Hierarchy Process: AHP)<sup>4)</sup>상의 적절한 接離岸 安全性의 評價項目(시뮬레이션 出力)을 檢討·提案하며, 各 接離岸 시뮬레이션후 조선한 船長이 느끼는 操船 困難度를 目的函數로 하는 接離岸 安全性 階層構造上에 있어서 各 評價項目間 相對比較 評價值를 決定하고자 한다.

$$A = \begin{pmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \cdots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \cdots & \frac{w_2}{w_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \cdots & \frac{w_n}{w_n} \end{pmatrix} \quad (2)$$

A의 右側으로부터 重要度의 벡터를 곱하면 式(3)과 같다.

## 2. 階層分析法

### 2.1 階層分析法과 相對比較行列

階層分析法(AHP)은 복잡한 문제의 階層化로부터 評價項目의 最終 重要度 決定까지의 절차가 체계화되어 있는 階層化 意思決定法이다. 階層分析法은 評價項目의 重要度를 구하는 것을 目的으로 하고 있다. 즉, 階層分析法은 評價項目의 相對比較(Pairwise Comparison)에 의한 比率로서 重要度를 결정하는 것이다. 이 때 評價項目간의 전체적인 推移性은 일정 범위내에서 유지되어야 한다. 따라서, 階層分析法에 의한 評價項目의 重要도에 따라 評價가 가능하게 된다. 즉, 定量化가 불가능한 指標에 대해 相對比較法에 의한 評價로 主觀的 數值를 배분하는 방법이다. 階層分析法의 節次는 문제를 분석해서 階層圖를 만들고, 各 階層에서 相對比較를 행하여 相對比較行列의 最大 固有值와 固有벡터를 구한다. 그리고, 階層間에 重要度를 合成한다.<sup>5)~6)</sup>

階層分析法에 의한 評價項目의 重要度를 구하는 방법은 다음과 같다. 지금  $n$ 개의 評價項目  $I_1, \dots, I_n$ 가 있고, 그 본래의 weight가  $w_1, \dots, w_n$ 이라고 할 때, 項目  $I_i$ 와  $I_j$ 의 重要度の 相對比較值  $a_{ij}$ 는 式(1)과 같은 관계를 만족한다.

$$a_{ij} = \frac{w_i}{w_j} \quad (1)$$

따라서, 相對比較行列  $A = [a_{ij}]$ 는 式(2)와 같다.

$$\begin{pmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \cdots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \cdots & \frac{w_2}{w_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \cdots & \frac{w_n}{w_n} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{pmatrix} = n \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{pmatrix} \quad (3)$$

이 관계식에 의한 重要度 벡터는 A의 固有벡터이고,  $n$ 은 固有值인 것을 알 수 있다. 더구나,  $n$ 은 行列 A의 最大固有值이다.

현실의 相對比較行列 A는 式(2)의 형을 하고 있는 것은 기대할 수 없다고 하여도 대개 거기에 근접하는 형을 하고 있다고 보이지만, A의 最大固有值와 固有벡터를 구하면, 그 固有벡터가 各 評價項目의 重要度로 채용할 수 있다고 볼 수 있다.

여기서, 일반적으로 현실의 相對比較行列 A의 最大固有值를  $\lambda_{max}$ , 固有벡터를 式(4)와 같이  $v$ 로 하자.

$$v = \begin{pmatrix} v_1 \\ \vdots \\ v_n \end{pmatrix} \quad (4)$$

그 때, 固有值와 固有벡터의 관계로부터 式(5)가 성립한다.

$$Av = \lambda_{max} v \quad (5)$$

이 때 일반적으로 式(6)과 같은 성질을 가지는

것이 證明된다.<sup>6)</sup>

$$\lambda_{\max} \geq n \quad (6)$$

最大固有値와 固有벡터를 구하기 위하여 멱승법(冪乘法, Power method)을 이용한다. 이 방법은, 行列  $A$ 에 初期벡터  $v^{(0)}$ 를 곱하여  $v^{(1)}$ 을 만들고, 덧붙여,  $A$ 에  $v^{(1)}$ 을 곱하여  $v^{(2)}$ 를 만드는 것같은 조작을 계속하면,  $v^{(k)}$ 는 차례에 最大固有 벡터의 方向으로 收斂하고,  $v^{(k)}$ 와  $v^{(k+1)}$ 의 크기의 비가 最大固有値에 收斂하는 성질에 의한다.

## 2.2 整合度の 評價

行列  $A$ 에는  $n$ 개의 固有値가 있고, 그 합은  $n$ 으로 되는 것을 알 수 있다. 式(6)으로부터, 式(7)은  $\lambda_{\max}$  이외의 固有値의 크기를 나타내는 指標로 볼 수 있다.

$$\lambda_{\max} - n \quad (7)$$

$(n-1)$ 개의 固有値에서 이 指標를 가지기 때문에 1개당 平均은 式(8)과 같다.

$$\frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} \quad (8)$$

行列  $A$ 가 완전한 整合성을 가진 경우는 이 값이 0으로 되고, 그것이 크게되는 만큼, 不整合성은 높다고 본다. 이 값을 整合度(consistency index)라 부르고, 기호 C.I.를 이용하여 표시하면 式(9)와 같다.

$$C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} \quad (9)$$

C.I.값이 0.1 이하이면 整合성을 만족하는 것으로 본다.<sup>4)</sup>

덧붙여, 整合度を 나타내는 또 하나의 指標를 준비한다. 지금, 1/9, 1/8, ..., 1/2, 1, ..., 9의 값을 랜덤으로 넣은 行列  $A$ (단, 대각요소는 1로 하고, 대칭요소의 역수관계는 성립하고 있는 것으로 한다.)의 C.I.를 수차례 계산하고, 그 平均値  $M$ 을

구하면 Table 1과 같고, 이를 “랜덤 整合度(Random Consistency Index)”라 부른다.<sup>6)</sup>

Table 1 Random consistency index

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
M	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.53

앞서 구한 C.I.의 값을 이  $M$ 에 나눈 값을 “整合比(consistency ratio)”라 부르고, 기호 C.R.를 이용하여 표시하면 式(10)과 같다.

$$C.R. = \frac{C.I.}{M} \quad (10)$$

C.R.의 값도 0.1 이하이면 重要度の 解를 수용하는 것으로 본다.<sup>4)</sup>

## 3. 階層分析法을 이용한 船舶의 接離岸 安全性 評價

### 3.1 接離岸 安全性 評價모델의 構成

#### 1) 階層圖의 作成

船舶의 接離岸 安全性은 다음 3가지 요소 즉, 危險地域에 대한 船舶의 近接度(Proximity), 船體의 運動에 대한 制御度(Controllability) 및 船舶을 操縱하는 操縱度(Manoeuvrability)를 評價하므로써 알 수 있다.

接岸時에는 效率性보다 安全性을 가장 우선하여 고려해야 하므로 船舶의 近接도가 船體運動의 制御度나 船舶 操縱度보다 더 우선적인 評價要素이다. 한편, 操縱도는 外力의 增大와 동시에 크게되는 경향이 있기 때문에 操船者가 느끼는 操船上의 困難度와 반드시 線形이지는 않다. 그러나, 퍼지 回歸의 結果<sup>3)</sup>에 의하면 船體運動의 制御도는 操船困難度와 相關이 높은 것으로 판단된다.

船舶의 近接도는 危險物(淺所地域)과의 CPA를 포함하며, 船體運動의 制御도는 平均 스윙트 패스, 接岸時間과 累積 位置角의 곱, 接岸 縱速度 및 接岸 橫速度로 구성한다. 이 때 스윙트 패스

(Swept path)란 航進中인 船體가 쓸고 지나가는 水面의 幅을 의미하며, 式(11)으로부터 그 크기를 구할 수 있다. 즉, 이것이 클수록 船舶의 制御能力은 감소하게 될 것이다.

$$\beta \text{ (Deviation)} = \tan^{-1}\left(\frac{v}{u}\right)$$

$$SP \text{ (Swept path)} = L_{BP} \cdot |\sin(\beta)| + B \cdot |\cos(\beta)| \quad (11)$$

단,  $u$ : 縱速度,  $v$ : 橫速度,  $L_{BP}$ : 垂線間長,  $B$ : 船幅을 각각 의미한다.

또한 接岸時間과 累積 位置角의 곱을 사용하는 이유는 累積 位置角이 작은 경우는 船席方向으로 빨리 轉舵되었음을 의미하므로 接岸時間이 많이 所要될 것이고 그 결과 經濟性이 나빠지며, 이와 반면에 累積 位置角이 큰 경우에는 늦게 船席方位로 轉舵되었음을 의미하므로 接岸時間이 적게 所要될 것임을 의미하나 船席方位와 동일하게 接岸하는데 危險性이 크다고 할 수 있다. 따라서 接岸時間과 累積 位置角의 곱을 취하면 接岸時間이 동일하다고 할 시에 累積 位置角이 적은 경우(빨리 船席方位를 취한 경우)가 接岸 安全性이 높으므로 이를 評價項目으로 사용한다. 船舶 操縱度는 前進時 主機

回轉數와 使用舵角의 곱, 後進時는 主機 回轉數를 評價項目으로 하고, 曳船 또는 쓰러스터 사용시 그 推力을 評價項目에 추가한다.

이들 評價項目을 分枝型으로 설정한 階層圖<sup>6)</sup>는 Fig. 1과 같이 표현된다.

2) 實驗設計 시나리오의 構成

實驗設計 시나리오의 데이터베이스는 釜山 北港의 內港防波堤 入口에서 子城臺埠頭 #53船席에 左

Table 2 Ship's principal particulars

Item	Symbol	Value	Unit
Ship length	$L$	274.0	$m$
Length overall	$L_{OA}$	297.0	$m$
Ship breadth	$B$	32.2	$m$
Mean draught	$d_m$	11.6	$m$
Max. speed ahead	$V_{max}$	21.0	$kts$
Max. speed astern	-	10.0	$kts$
Bow thruster	-	1,100.0	$HP$
Steady State Speed	-	16.0	$kts$

Table 3 Scenario Descriptions and it's Difficulty of Berthing

Item	Wind	Current	HST File Name	Difficulty of Berthing
Scenario A	SE'ly 0.0 kts	220° Slack	AHP_00_00.HST	① EA
Scenario B	SE'ly 10.0 kts	220° Slack	AHP_10_00.HST	② ME
Scenario C	SE'ly 10.0 kts	220° 1.0 kts	AHP_10_10.HST	③ NO
Scenario D	SE'ly 10.0 kts	220° 1.5 kts	AHP_10_15.HST	⑤ HA
Scenario E	SE'ly 15.0 kts	220° 1.0 kts	AHP_15_10.HST	④ MN
Scenario F	SE'ly 15.0 kts	220° 1.5 kts	AHP_15_15.HST	⑤ HA

(Note) Difficulty of Berthing Maneuver:

[VH] : Very Hard(Level 1)

[NO] : Normal(Level 5)

[VE] : Very Easy(Level 9)

[MN] : Mean of HA and NO(Level 4)

[MV] : Mean of EA and VE(Level 8)

[HA] : Hard(Level 3)

[EA] : Easy(Level 7)

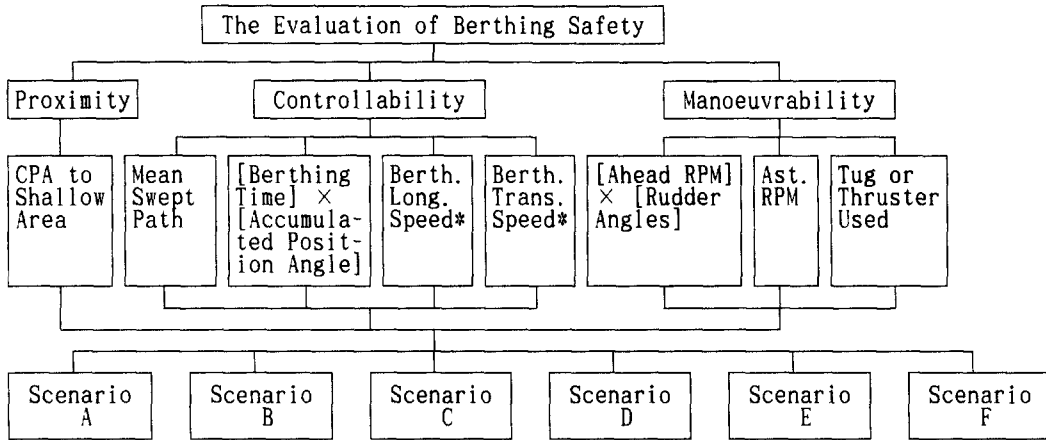
[MH] : Mean of VH and HA(Level 2)

[ME] : Mean of NO and EA(Level 6)

1.5kts로 하는 총 6개 시나리오를 구성하여 시뮬레이션을 시행하였고, 從屬變數는 앞서 제안한 8 艀接岸하기까지로 구축하였고, 經驗이 풍부한 1인의 船長에 의하여 初期針路 310도, 初期速度 7kts로하여 接岸停船을 시도하였다. 操縱水域上의 障害物은 本船 針路上의 左艀 360m 거리에 10m 水深의 淺所地域(Lat.: 35° 06.5233N,

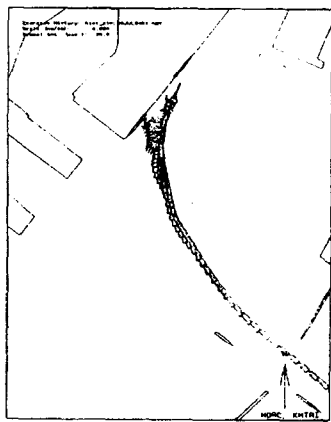
Long.129° 03.5883E)이 존재하며, 모델 船舶의 船型은 60,000DWT급의 컨테이너선으로 그 제원은 Table 2와 같다.

獨立變數로서 環境條件만을 사용하였으며, 이때 바람을 0~15kts, 潮流를 轉流(slack water) ~개의 評價項目으로 하였다. 필요시 Bow Thruster 및 曳船을 사용하였고, 각 시뮬레이션 시행후



(Note) \* mark indicates the evaluating factors are not applied to unberthing case.

Fig. 1 Hierarchical evaluation structure of berthing safety

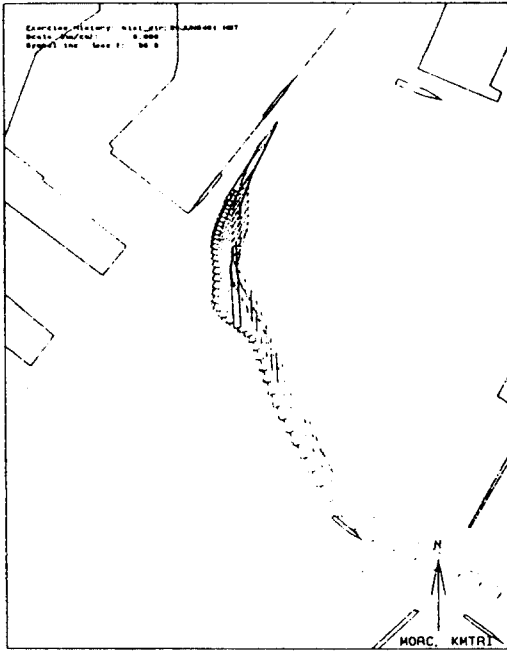


(Wind: 00kts, Current: slack)  
(a) Scenario A: AHP\_00\_00.HST



(Wind: 10kts, Current: slack)  
(b) Scenario B: AHP\_10\_00.HST

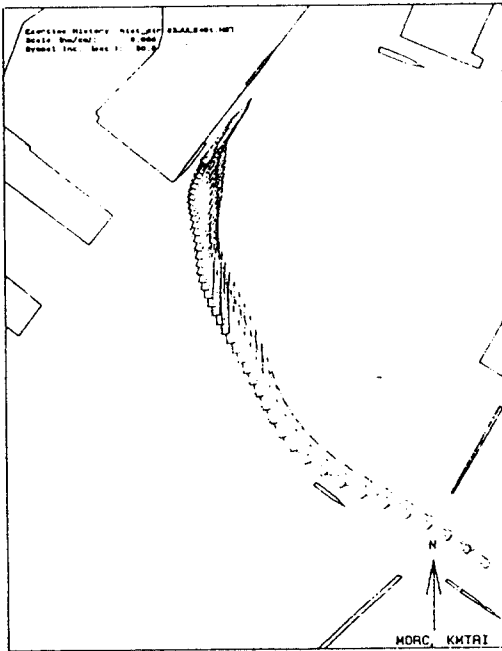
Fig. 2(I) Ship trajectories of the Experimental Scenarios



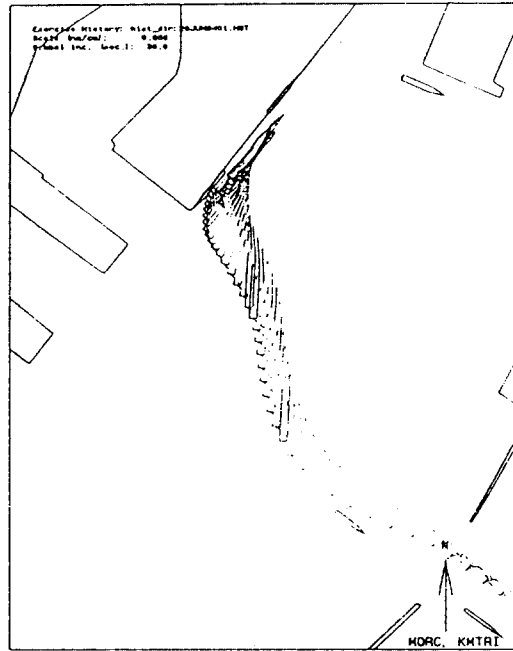
(Wind: 10kts, Current: 10kts)  
(c) Scenario C: AHP\_10\_10.HST



(Wind: 10kts, Current: 15kts)  
(d) Scenario D: AHP\_10\_15.HST



(Wind: 15kts, Current: 10kts)  
(e) Scenario E: AHP\_15\_10.HST



(Wind: 15kts, Current: 15kts)  
(f) Scenario F: AHP\_15\_15.HST

Fig. 2(II) Ship trajectories of the Experimental Scenarios

操船한 船長이 느낀 主觀的인 操船 困難度를 극히 困難(Level 1)에서 극히 容易(Level 9)까지 9개 등급으로 나누어 設問調査를 행하여 각 시나리오 별 Table 3과 같은 결과를 획득했다. 각 시나리오 별 航跡圖는 Fig. 2와 같다.

3.2 評價項目의 相對比較 評價值

8개 평가항목 각각에 대한 상대비교 평가치는 Table 4~11과 같고, 이들 평가치의 整合度 (Consistency index: C.I.)와 整合比(Consistency ratio: C.R.)는 모두 0.1 이하로 양호한 결과를 가지고 있다. 특히 Table 7의 接岸 縱速度는 目標 船席 前方 1~2B의 위치에서 0에 가까울수록 양호한 상태를 가진 것으로 평가했으며, Table 8의 接岸 橫速度는 本 實驗設計 시나리오의 接岸이 左舷接岸이므로 目標船席 前方 1~2B에서는 曳船이 나 船首/船尾 쓰러스터를 이용하여 橫速度가 -10

cm/sec에 가까울수록 양호한 상태의 橫方向 接岸 速度라고 보았다. Table 9의 前進時의 主機 回轉數과 使用舵角의 곱의 評價値에서는 엔진이나 舵를 가급적 적게 사용하여 接岸할수록 豫備 船舶操縱度가 많이 확보될 수 있으므로, 그 값이 적을수록 양호한 것으로 평가했다. Table 10에서는 船舶 操船상 후진시는 타를 고려할 필요가 없으므로 主機 回轉數만을 評價項目으로 하였고, Table 10의 후진추력이나 Table 11의 사용한 曳船 또는 船首尾 쓰러스터에 있어서 그 값이 적을수록 보다 많은 예비제어능력을 가질 수 있는 것으로 평가된다. 결국, 각 시나리오별 評價項目에 대한 相對比較 評價值를 綜合하면 Table 12와 같다.

한편, Table 13은 본 논문에서 제안된 8개 평가항목 상호간에 대하여 선박조종 전문가에게 설문을 의뢰한 결과의 상대비교 평가치를 나타내고 있으며, 이들 평가치의 整合度(Consistency index: C.I.)와 整合比(Consistency ratio: C.R.)는 모두 0.1 이하로 양호한 결과를 가진다.

Table 4 Weights of CPA to shallow area

Scenario	CPA to Shallow Area (m)	Normalized Score
A	207.94	0.86
B	241.63	1.00
C	167.09	0.69
D	50.50	0.21
E	131.36	0.54
F	164.04	0.68

Scenario	B	A	C	F	E	D	Weight
B	1	2	4	4	5	8	0.3831152
A		1	3	3	4	8	0.2822648
C			1	1	4	7	0.1363438
F				1	3	7	0.1256606
E					1	7	0.06933287
D						1	0.02328286

(Note)  $\lambda = 6.495483$   
 C.I.(Consistency index) = 0.09909649 < 0.1  
 C.R.(Consistency ratio) = 0.07991653 < 0.1



Table 5 Weight of mean swept path

Scenario	Mean Swept Path (m)	Normalized Score
A	95.36	1.00
B	103.15	0.92
C	110.90	0.86
D	121.72	0.78
E	113.06	0.84
F	130.26	0.73

Scenario	A	B	C	E	D	F	Weight
A	1	1	2	2	3	3	0.2905986
A		1	1	1	2	3	0.2086155
C			1	1	1	2	0.1529064
E				1	1	2	0.1529064
D					1	1	0.1148492
F						1	0.0801239

(Note)  $\lambda=6.112657$

C.I.(Consistency index)=0.02253132 < 0.1

C.R.(Consistency ratio)=0.01817042 < 0.1

Table 6 Weight of the product berthing times by accumulated position angles

Scenario	Berthing Time [a] (min)	Accumulated Position Angle [b] (deg)	Product [a]×[b]	Normalized Score
A	24	1,940.97	46,580.30	0.68
B	26	2,205.63	57,346.39	0.55
C	27	1,657.95	44,764.64	0.70
D	25	1,390.16	34,753.95	0.91
E	23	1,506.69	34,653.82	0.91
F	24	1,311.02	31,464.51	1.00

Scenario	F	E	D	C	A	B	Weight
F	1	1	1	3	4	5	0.2710148
E		1	1	3	3	4	0.2488650
D			1	3	3	4	0.2488650
C				1	1	3	0.0966528
A					1	2	0.0847165
B						1	0.0498859

(Note)  $\lambda=6.076969$

C.I.(Consistency index)=0.01539383 < 0.1

C.R.(Consistency ratio)=0.01241438 < 0.1

Table 7 Weight of berthing long. speed

Scenario	Berthing Long. Speed (cm/sec)	Normalized Score
A	-6.32	0.15
B	13.57	0.07
C	-8.90	0.10
D	0.93	1.00
E	6.08	0.15
F	-8.65	0.11

Scenario	D	E	A	F	C	B	Weight
D	1	7	7	8	8	9	0.5766086
E		1	1	3	4	6	0.1423865
A			1	3	4	6	0.1423865
F				1	1	4	0.0599605
C					1	3	0.05213692
B						1	0.02652101

(Note)  $\lambda=6.425421$

C.I.(Consistency index)=0.08508424 < 0.1

C.R.(Consistency ratio)=0.06861633 < 0.1

Table 8 Weight of berthing trans. speed

Scenario	Berthing Trans. Speed (cm/sec)	Normalized Score
A	-18.41	0.54
B	-22.83	0.44
C	-6.76	0.68
D	-11.04	0.91
E	-4.79	0.48
F	-6.06	0.61

Scenario	D	C	F	A	E	B	Weight
D	1	3	4	5	5	6	0.4422134
C		1	2	3	3	4	0.2126453
F			1	2	3	3	0.1428090
A				1	2	2	0.0889034
E					1	1	0.0593568
B						1	0.0540723

(Note) The above normalized score has the best priority at -10cm/sec.

$\lambda=6.145281$

C.I.(Consistency index)=0.02905617 < 0.1

C.R.(Consistency ratio)=0.02343239 < 0.1

Table 9 Weight of the product ahead RPM by rudder angle used

Scenario	Product [Ahead RPM] × [Rudder Angle]	Normalized Score
A	633.88	1.00
B	2,109.16	0.30
C	2,144.98	0.30
D	5,196.02	0.12
E	2,839.74	0.22
F	18,997.37	0.03

Scenario	A	B	C	E	D	F	Weight
A	1	4	4	5	7	9	0.4639718
B		1	1	3	4	7	0.1795467
C			1	3	4	7	0.1795467
E				1	3	6	0.0965016
D					1	5	0.0565287
F						1	0.0239047

(Note)  $\lambda=6.450198$   
 C.I.(Consistency index)=0.09003963 < 0.1  
 C.R.(Consistency ratio)=0.07261261 < 0.1

Table 10 Weight of astern RPM

Scenario	Astern RPM	Normalized Score
A	450.00	0.18
B	440.00	0.18
C	200.00	0.40
D	170.00	0.47
E	80.00	1.00
F	220.00	0.36

Scenario	E	D	C	F	B	A	Weight
E	1	6	6	7	9	9	0.5470495
D		1	2	3	7	7	0.1849062
C			1	2	5	5	0.1200093
F				1	5	5	0.0899654
B					1	1	0.0290349
A						1	0.0290349

(Note)  $\lambda=6.449959$   
 C.I.(Consistency index)=0.08999167 < 0.1  
 C.R.(Consistency ratio)=0.07257393 < 0.1

Table 11 Weight of tug or thruster used

Scenario	Product [Bow/Stern Thruster] × [Duration]	Normalized Score
A	30.00	0.83
B	28.00	0.88
C	36.75	0.67
D	31.50	0.79
E	24.75	1.00
F	32.00	0.77

Scenario	E	B	A	D	F	C	Weight
E	1	2	2	3	3	4	0.3372904
B		1	1	2	2	3	0.2003026
A			1	1	1	2	0.1483680
D				1	1	2	0.1226631
F					1	2	0.1226631
C						1	0.0687130

(Note)  $\lambda = 6.06369$

C.I.(Consistency index) = 0.01273804 < 0.1

C.R.(Consistency ratio) = 0.01027261 < 0.1

Table 12 Overall weights of each scenario

Scenario	Evaluation Factor	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
	Scenario A		0.282	0.291	0.085	0.142	0.089	0.464	0.029
Scenario B		0.383	0.209	0.050	0.027	0.054	0.180	0.029	0.200
Scenario C		0.136	0.153	0.097	0.052	0.213	0.180	0.120	0.069
Scenario D		0.023	0.115	0.249	0.577	0.442	0.056	0.185	0.123
Scenario E		0.069	0.153	0.249	0.142	0.059	0.096	0.547	0.337
Scenario F		0.126	0.080	0.271	0.060	0.143	0.024	0.090	0.123

(Note) (a) : CPA to Shallow Area

(b) : Mean Swept Path

(c) : The Product Berthing Times by Accumulated Position Angles

(d) : Berthing Long. Speed

(e) : Berthing Trans. Speed

(f) : The Product Ahead RPM by Rudder Angle Used

(g) : Weight of Astern RPM

(h) : Tug or Thruster Used

Table 13 Weight of each evaluation factor by AHP

Evaluation Factor	[a]	[b]	[f]	[h]	[c]	[g]	[d]	[e]	Weight
[a]	1	3	5	5	7	7	9	9	0.3916370
[b]		1	3	3	5	5	9	9	0.2278740
[f]			1	1	3	3	7	7	0.1152108
[h]				1	3	3	7	7	0.1152108
[c]					1	1	5	5	0.0560887
[g]						1	5	5	0.0560887
[d]							1	1	0.0189450
[e]								1	0.0189450

(Note) [a] : CPA to Shallow Area                      [b] : Mean Swept Path  
 [c] : The Product Berthing Times by Accumulated Position Angles  
 [d] : Berthing Long. Speed                      [e] : Berthing Trans. Speed  
 [f] : The Product Ahead RPM by Rudder Angle Used  
 [g] : Weight of Astern RPM                      [h] : Tug or Thruster Used  
 $\lambda = 8.562206$   
 C.I.(Consistency index)=0.08031505 < 0.1  
 C.R.(Consistency ratio)=0.05696103 < 0.1

Table 14 Ranking of berthing safety based on AHP

Item	[a]	[b]	[c]	[d]	[e]	[f]	[g]	[h]	Total Score	AHP Ranking	Difficulty of Berthing
Scenario A	0.282	0.291	0.085	0.142	0.089	0.464	0.029	0.148	0.258	①	① EA
Scenario B	0.383	0.209	0.050	0.027	0.054	0.180	0.029	0.200	0.247	②	② ME
Scenario C	0.136	0.153	0.097	0.052	0.213	0.180	0.120	0.069	0.134	④	③ NO
Scenario D	0.023	0.115	0.249	0.577	0.442	0.057	0.185	0.123	0.100	⑥	⑤ HA
Scenario E	0.069	0.153	0.249	0.142	0.059	0.097	0.547	0.337	0.160	③	④ MN
Scenario F	0.126	0.080	0.271	0.060	0.143	0.024	0.090	0.123	0.109	⑤	⑤ HA

(Note) 1. Evaluation factor  
 [a] : CPA to Shallow Area                      [b] : Mean Swept Path  
 [c] : The Product Berthing Times by Accumulated Position Angles  
 [d] : Berthing Long. Speed                      [e] : Berthing Trans. Speed  
 [f] : The Product Ahead RPM by Rudder Angle Used  
 [g] : Weight of Astern RPM                      [h] : Tug or Thruster Used

2. Difficulty of Berthing Maneuver  
 [VH] : Very Hard(Level 1)                      [HA] : Hard(Level 3)  
 [NO] : Normal(Level 5)                      [EA] : Easy(Level 7)  
 [VE] : Very Easy(Level 9)                      [MH] : Mean of VH and HA(Level 2)  
 [MN] : Mean of HA and NO(Level 4)                      [ME] : Mean of NO and EA(Level 6)  
 [MV] : Mean of EA and VE(Level 8)

### 3.3 接岸 安全性 評價모델의 評價 結果

環境條件을 獨立變數로 하여 實驗設計한 6개의 시나리오 A~F에 대한 接岸 安全性 評價를 위하여 階層分析法을 이용한 結果, 각 시나리오별 8개의 評價項目에 대한 相對比較 評價値는 Table 12와 같고, 8개 評價項目 相互間의 相對比較 評價値는 Table 13과 같이 나타났다. 따라서 이들 兩 評價値를 종합하여 시나리오별 總合 評價値를 구하면 Table 14와 같다.

즉, 環境條件에 따른 實驗設計 시나리오의 船舶 接岸 安全性에 대하여 階層分析法에 의한 定量的인 相對順位評價가 가능하였고, 接岸 安全性은 시나리오 A > 시나리오 B > 시나리오 E > 시나리오 C > 시나리오 F > 시나리오 D의 順位를 가지며, 操船者의 設問調査에 의한 操船 困難度 順位評價와 비교하면 대체적으로 일치함을 나타내고 있으나, 시나리오 C(AHP\_10\_10)와 E(AHP\_15\_10)의 順位는 뒤바뀌어 나타났다. 이는 潮流가 동일한 조건에서 風速 10kts와 15kts의 차이보다 操船者의 당시 操船 性向에 더 큰 영향을 받는 것을 의미한다.

특히 시나리오 F와 D는 操船 困難도가 難易한 것으로 評價되었으므로 6개 시나리오에 대한 本論文의 接岸 安全性 評價모델은 接岸 安全性의 相對 限界値를 0.11이하로 판단할 수 있을 것이다.

## 4. 結 論

實驗設計 시나리오의 接岸 安全性에 대하여 操船者의 設問調査에 의한 操船 困難도의 順位는 操船者의 主觀的인 評價이나, 階層分析法에 의한 評價順位는 船舶의 近接度(The Proximity of vessel), 船舶의 制御度(Vessel controllability) 및 船舶의 操縱性(Vessel manoeuvrability)에 대한 8개의 評價基準으로 나누어 定量的으로 評價한 척도이다.

環境條件에 따른 實驗設計 시나리오의 船舶 接岸 安全性에 대하여 本論文에서 提案한 階層分析法의 評價順位를 操船者의 設問調査에 의한 操船

困難度 順位評價와 비교한 結果 操船者의 主觀的인 判斷과 유사함을 나타내며, 따라서 本論文에서 제안한 各 評價項目의 相對比較 評價値가 적절하였음을 반증하고 있다.

즉, 船舶 接離岸의 安全性 評價를 목적으로 階層分析法의 評價項目과 그들의 相對比較 評價値는 다음과 같이 제안되며, 특히 實驗設計 시나리오중 F와 D는 操船 困難도가 難易한 것으로 評價되었으므로 6개 시나리오에 대한 本論文의 接岸 安全性 評價모델은 接岸 安全性의 相對 限界値를 대개 0.11 以下로 판단할 수 있다.

- |                                |       |
|--------------------------------|-------|
| (1) 淺所地域과의 CPA .....           | 0.392 |
| (2) 平均 스웽트 패스 .....            | 0.228 |
| (3) 接岸時刻와 累積 位置角의 곱 .....      | 0.056 |
| (4) 接岸 縱速度 .....               | 0.019 |
| (5) 接岸 橫速度 .....               | 0.019 |
| (6) 前進時의 主機 回轉數와 使用舵角의 곱 ..... | 0.115 |
| (7) 後進時의 主機 回轉數 .....          | 0.056 |
| (8) 使用한 曳船 또는 船首尾 스러스터 ...     | 0.115 |

## 參 考 文 獻

- 1) CAORF Research Staff, "An Overview of CAORF Research Data Analysis and Model Validation Performance Measures", Task K-0216-11, pp. 4~5, June 1987.
- 2) M.W. Smith, K.L. Marino, J. Multer, "Short Range Aids to Navigation Systems Design Manual for Restricted Waterways", Eclectech Associates Division of Ship Analytics, June 1985.
- 3) 中村紳也 外, "ファジィ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, 1989.
- 4) T.L. Saaty · K.P. Kearns, "Analytical Planning", Pergamon Press, 1985.
- 5) 李石泰 · 李哲榮, "퍼지 階層 評價 알고리즘開發과 그 適用에 관한 研究", 한국해양대학교

- 대학원, p.12, 1994.
- 6) 刀根 薫, “ゲーム感覺意思決定法”, 日科技連出版社, p.43, 1986.
- 7) 具滋允·全相燁·李哲榮, “船舶操縱 시뮬레이션

에 의한 船舶의 通航 및 接離岸 安全性 評價모델 開發에 관한 研究”, 韓國海技研修院 附設 船舶運航技術研究所, 1994.