

操船者의 操船負擔感을 고려한 沿岸海域의 航行 安全性 評價에 관한 研究

김종수* · 장운재**

*목포해양대학교 해상운송시스템공학과 교수, **목포해양대학교대학원

Evaluation of the Navigational Safety Level in Korean Coastal Waterway from the Viewpoint of Ship Operator's Stress

Jong-Soo Keum*, Woon-Jae Jang**

*Professor, Department of Maritime transportation system Mokpo Maritime University, Mokpo 530-729, Korea

**Graduate school of Mokpo Maritime University, Mokpo 530-729, Korea

요약 : 최근 해양사고를 예방하기 위해 다양한 정책과 대응방안이 개발되고 있다. 연안해역에 항행안전성을 증가시키기 위해서 항행안전성은 조선자의 관점에서 평가되어야 한다. 항행 안전성 평가와 같은 문제에 있어 인간의 사고에는 많은 형태의 애매함이 존재한다. 이러한 평가에서 애매함을 반영하기 위해 본 연구에서는 퍼지척도와 쇼케적분을 소개하였다. 본 연구의 목적은 퍼지척도와 쇼케적분을 이용하여 조선부담감의 관점에서 평가모델을 개발하였다. 그리고 본 연구에서는 우리나라 연안해역을 8개로 나누고 연안 VTS와 항행보조시설 설치의 우선순위를 결정하기 위한 평가를 실시하였다. 그 결과 목포, 여수, 포항, 인천, 부산, 거제, 군산, 동해근해해역순으로 안전성이 낮게 평가되었다.

핵심용어 : 퍼지척도, 퍼지적분, 쇼케적분, 조선부담감, 연안해역, 조선환경 스트레스

Abstract : The prevention of marine accidents has been a major topic in marine society and various policies and countermeasures have been developed, applied to the industries. In order to improve the navigational safety level in the coastal waterways, the navigational safety level must be evaluated from the mariner's perception of safety. So far as human beings are concerned, there are many types of fuzziness in the evaluation of navigational safety level. In order to reflect these fuzziness on this evaluation, this paper introduces the fuzzy integral suggested by Choquet to represent the fuzziness in the evaluation process. This paper aims to develop the method for this evaluation from the viewpoint of mariner's operational stress using the fuzzy measure and Choquet integral. In this paper, Korean coastal area is divided into 8 sectors and evaluated the priority for the needs of coastal VTS and navigational aids. The results are shown in the order named Mokpo, Yosu, Pohang, Inchon, Busan, Geoje, Gunsan, Donghae coastal area.

Key words : Fuzzy Measure, Choquet Integral, Fuzzy Integral, Operational Stress, Coastal Waterway, Environment Stress

1. 서론

해상에서 선박은 도로나 철도와 같이 명확한 루트는 없지만 스형 등 자연환경에 의해 항로가 형성되었다. 이로 인해 크기 및 성능이 비슷한 선박이 통항하는 루트는 대개 일정하였고, 항로는 장시간에 걸쳐 자연발생적으로 형성되어 왔다.

한편 최근에는 해안의 활용에 대한 관심이 고조되어 종래에는 항로로 이용되던 장소가 해상 구조물의 설치, 해안 매립

및 교량의 건설 등으로 인해 항로로 사용되지 않게 되는 경우가 발생되고 있다.

또한 해상수송량의 급증에 따른 해상교통량의 폭주, 선박의 대형화 및 고속화됨에 따라 우리나라 연안해역에서 해상교통류의 흐름이 복잡하고 다양화되고 있다. 이처럼 연안해역에서 항로 주변의 교통 및 자연환경 등의 항행 환경이 복잡하게 변화함에 따라 조선자가 느끼는 조선부담감도 증대된다. 따라서 조선자가 주변환경으로부터 느끼는 위험성 측면에서 안전성을 평가 할 필요가 있다.

본 연구에서는 연안해역의 항행안전성을 평가하기 위해 브레인스토밍(Brainstorming)법에 의해 5개의 평가항목을 추출하였다.

* 종신회원 : ikseum@mmu.ac.kr 061)240-7075

** 정회원 : jwj98@netian.comr 061)240-7532

평가항목 중 안개발생일수, 해상교통량, 해양사고 발생건수, 위험물 취급량은 정량적인 통계자료를 이용하였다. 그러나 항로의 복잡성은 그 해역을 항행하는 조선자가 주변 환경으로부터 느끼는 부담감을 정량화 할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 조선자가 대상해역에서 느끼는 조선부담감을 정량적으로 표현한 조선환경 스트레스치를 이용하였다(井上欣三·増田憲司·世良亓,1998).

평가문제에서는 복잡한 평가 대상을 계층구조의 형태로 분석함으로써 의사결정을 용이하게 하고 인간의 주관적인 감성을 취급하는 수법으로는 계층분석법이 광범위하게 사용되고 있다.

한편, 가법성을 가정한 계층분석법을 보완한 평가방법으로 비가법적인 경우에도 평가 할 수 있는 퍼지측도가 제안되고 있다. 퍼지측도를 이용하여 평가문제를 종합적으로 평가하기 위해서는 Choquet적분에 의한 평가법이 이용되고 있다(孫永璿·鬼澤武久,1997).

따라서 본 연구에서는 우리나라 연안해역을 8개의 해역으로 구분하고 Choquet적분에 의한 평가법을 이용하여 연안해역의 안전성을 평가하였다.

2. 이론적 배경

연안해역의 항행 안전성을 평가하기 위하여 본 연구에서 이용한 퍼지측도와 Choquet적분에 대하여 간략히 살펴보기로 한다.

2.1 퍼지측도

퍼지측도(fuzzy measure)는 애매한 대상을 주관적으로 계량할 때의 척도이다. 퍼지측도의 정의는 전체집합 X 의 임의의 부분집합 A, B 를 구간 $[0, 1]$ 의 실수치에 대응시키는 집합함수 g 가 다음 조건을 만족하는 것이다(孫永璿·鬼澤武久, 1997).

조건1: $g(\emptyset) = 0, \quad g(X) = 1$ (유계성)

조건2: $A \subset B$ 이면, $g(A) \leq g(B)$ (단조성)

$A_1 \subset A_2 \subset \dots$ 또는 $A_1 \supset A_2 \supset \dots$ 이면
조건3: $\lim_{n \rightarrow \infty} g(A_n) = g(\lim_{n \rightarrow \infty} A_n)$ (연속성)

조건 3의 경우 X 가 유한집합인 경우에는 명백히 성립하므로 평가문제에 있어서는 불필요하게 된다.

퍼지측도는 λ -퍼지측도, Bel 측도, Pl 측도, 가능성 측도(possibility measure), 필연성 측도(necessity measure) 등이 있으며, 이 중에서 스게노가 제안한 λ -퍼지측도(g_λ)가 주관적 척도의 모델로서 많이 이용되고 있다.

일반적으로 Choquet적분을 하기 위해서는 n 개의 평가항목

에 대하여 $2^n - 1$ 개의 관측 자료로부터 중요도를 추출하게 되며, 이 경우 상호작용계수를 나타내는 파라미터 λ 는 외생적으로 주어지게 된다.

λ -퍼지측도(g_λ)는 식(2.1)과 같이 퍼지측도에 매개변수(λ)를 도입한 형태이다. 단, 여기서 λ -퍼지측도 g_λ 는 단조성을 갖는다.

$$g_\lambda(A \cup B) = g_\lambda(A) + g_\lambda(B) + \lambda g_\lambda(A)g_\lambda(B)$$

단, $A, B \in X, \quad A \cap B = \emptyset, \quad -1 < \lambda < \infty$ (2.1)

식(2.1)의 λ 는 + 또는 - 값을 가짐으로서 각각 상승작용 또는 상쇄작용을 나타내며, λ 가 0 값을 취할 때 λ -퍼지측도(g_λ)는 확률측도가 되어 가법성을 만족시키게 된다.

식(2.1)을 이용하여 서로 소(素)인 부분집합 열 $\{A_1, A_2, A_3, \dots, A_n\}$ 에 대하여 식(2.2)와 같은 일반식을 유도할 수 있다.

$$g_\lambda\left(\bigcup_{i=1}^n A_i\right) = \frac{1}{\lambda} \left(\prod_{i=1}^n (1 + \lambda g_\lambda(A_i)) - 1 \right)$$

단, $A_i \cap A_j = \emptyset, \quad i \neq j$ (2.2)

본 연구에서는 연안해역의 안전성 평가요소 i 및 j 간의 상호작용계수(λ_{ij})를 언어적인 표현방법을 사용하여 요소간에 상호작용 여부를 먼저 질문하고, 다음으로 상승작용이나 상쇄작용 중 어느 하나에 대하여 0 및 (-1, 0)과 (0, 1)로 응답을 구하였다. 식(2.3)은 평가요소간의 상호작용계수를 구하는 방법이다.

$$\mu_i = \sum_{j=1}^n \lambda_{ij} / (n-1) \quad (i \neq j)$$

$$\lambda = \frac{\mu_i}{n}$$

(2.3)

한편, 평가문제에 있어서는 Tskamoto가 제안한 λ -퍼지측도가 널리 사용되고 있으며, 본 연구에서도 이 측도를 사용한다. Tskamoto가 제안한 λ -퍼지측도($f_\lambda(u)$)는 식(2.4)와 같다.

$$f_\lambda(u) = \begin{cases} ((1+\lambda)^n - 1) / \lambda & \text{if } \lambda \neq 0 \\ u & \text{if } \lambda = 0 \end{cases}$$

(2.4)

여기서 u 는 계층분석법에서 구한 중요도 $w(\cdot)$ 와 같은 의미를 가지고 있으며, $f_\lambda(u)$ 는 퍼지측도 $w(\cdot)$ 이다.

따라서 상호작용계수(λ)를 도입함으로써 계층평가의 일관성

을 유지하면서, 상호작용 효과를 중요도에 반영할 수 있으므로 동일 계층의 평가항목 사이에 반드시 독립성이 보장되지 않더라도 취급할 수 있게 된다.

한편, 평가항목 중에는 실질적으로 평가에 영향을 미치지 않을 정도로 중요도가 약한 항목이 포함될 수 있기 때문에 평가항목을 선정할 경우 필요도 계수를 산정할 필요가 있다. 따라서 식(2.3)으로부터 평가에 필요한 항목으로 선정할 수 있는 필요도 계수 ν_i 를 식(2.5)를 이용하여 산출할 수 있다.

$$\nu_i = 1 + \mu_i(1 - g_k) \quad (-1 \leq \mu_i < 0) \quad (2.5)$$

식(2.5)는 중요도가 클수록, 또 μ_i 가 0에 가까울수록 그 값이 크도록 되어있다. 따라서 ν_i 의 값에 적당한 임계값을 적용하여 평가항목의 필요성을 검토할 수 있다.

2.2 Choquet적분

항행 안전성 평가 문제와 같이 평가대상을 퍼지측도를 이용한 경우에는 비가법성이 존재하므로 종합적으로 평가하기 위해 퍼지적분을 통해서 종합치를 구해야 한다.

Choquet적분은 전체집합 $X = \{x\}$ 상에 정의된 함수 $h : X \rightarrow [0, \infty)$ 에 대하여 퍼지측도 $g : 2^X \rightarrow [0, 1]$ 로 주어진 다. 이때 종합평가치 μ 는 함수 h 의 퍼지측도 g 에 의한 X 의 Choquet적분은 식(2.6)과 같이 정의된다(孫永濤·鬼澤武久, 1997).

$$\mu := (c) \int h dg = \int_0^\infty g(H_a) da \quad (2.6)$$

단, $H_a = \{x \mid h(x) \geq a\}$ 이다.

일반적으로 평가문제에는 평가항목의 집합 $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ 은 유한집합이므로 함수 $h(x_i)$ 는 $h(x_1) = a_1 \geq h(x_2) = a_2 \geq h(x_3) \geq \dots \geq h(x_n) = a_n$ 가 되도록 x_i 를 결정하면, 종합평가치 μ 는 식(2.7)로 결정된다.

$$\mu := (c) \int h dg = \sum_{i=1}^n (a_i - a_{i-1})g(H_i) \quad (2.7)$$

3. 대상해역 범위 및 특성

3.1 평가항목의 선정 및 대상해역의 범위

연안해역의 항행 안전성을 평가하기 위하여 본 연구에서는 평가항목을 브레인스토밍법에 의해 추출한 결과 평가항목은 평균 안개발생일수(x_1), 항로의 복잡성(x_2), 해상교통량(x_3), 해양사고 발생건수(x_4), 위험물 취급량(x_5)등 5개로 추출되었

다.

한편 대상해역의 범위 설정은 연안 VTS의 관리수역의 범위를 고려하여 연안에서 30마일 이내의 해역으로 한정하고 해상교통류의 흐름과 28개의 주요 무역항 등을 고려하여 우리나라의 전 연안해역을 8개 해역으로 구분하였다. 대상해역의 구체적인 범위는 Fig. 1과 같다.

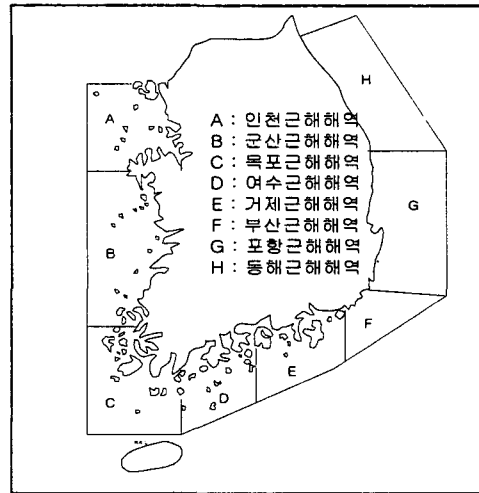


Fig.1 Canded areas of evaluation

3.2 대상해역의 특성

1) 평균 안개발생일수

지난 20년간(1980년~1999년) 우리나라 해역별 연평균 안개 발생일수 및 지속시간은 Table 1과 같다.

Table 1 Frequency of foggy days in 8 sectors(1980~1999)

대상해역	안개(연평균)		
	발생일수(a)	지속시간(b)	[a]×[b]
A	51.0	303.2	15453.2
B	46.0	214.6	9871.6
C	27.0	111.9	3021.3
D	24.0	116.5	2796.0
E	12.6	44.8	564.5
F	19.8	78.3	1550.4
G	8.7	32.3	281.0
H	15.0	72.7	1090.5

연평균 안개발생일수는 인천근해해역이 51.0일로 가장 높게 나타났으며 지속시간도 303.2시간으로 인천근해해역이 가장 높다.

2) 해상교통량

우리나라 연안해역의 해상교통량은 매년 증가 추세를 보이고 있는데 본 연구에서는 1999년도의 해상교통량의 기중점

석을 실시하였다.

전체 8개 해역별로 구한 해상교통량은 Table 2와 같으며 목포근해해역이 205,752척으로 가장 많고 동해근해해역의 교통량이 14,770척으로 가장 적은 것으로 나타났다.

Table 2 Traffic volume in 8 sectors

대상해역	외항선	연안선	여객선	어선	합계
A	16822	18412	41108	2400	78742
B	3103	18378	31676	9812	62969
C	949	17275	168496	19032	205752
D	14568	34027	26164	14539	89298
E	7703	29987	53668	24299	115657
F	41201	36644	23584	6920	108349
G	23996	29058	2934	5327	61315
H	1356	6607	2934	3873	14770

3) 해양사고 발생건수

각 해역별로 지난 10년간(1991년~2000년) 해양사고 발생건수는 Table 3과 같이 목포근해해역이 582건으로 가장 빈발하였으며, 동해근해해역이 167건으로 가장 적게 발생하고 있다.

Table 3 Statistics of marine casualties

대상해역	해양사고 발생건수		
	교통관련사고	기술관련사고	계
A	85	95	180
B	60	127	187
C	207	375	582
D	129	244	373
E	94	122	216
F	135	121	256
G	116	186	302
H	36	131	167

4) 위험물 통항량

대상해역에 대한 2000년의 위험물 취급량은 Table 4와 같이 포항근해해역이 186,305천톤으로 가장 많이 취급하였으며 가장 적은 해역은 목포근해해역이 1,554천톤 취급하였다.

Table 4 Weight of dangerous cargo volumes

대상해역	위험화물량(천톤)
A	164944
B	4334
C	1554
D	117435
E	8853
F	19164
G	186305
H	1267

5) 항로의 복잡성

조선 곤란성을 평가하는 지표치에는 선박의 마주침의 빈도,

피항조선의 횡수, 항로의 이용율 등 객관적인 조선 곤란도를 나타내는 지표치가 있다. 또한, 주관적인 조선 곤란도를 나타내는 지표치는 SJ(Subjective Judgement)치, BC(Blocking Coefficient)치, ES(Environmental Stress)치 등이 있는데 경험자의 주관적인 조선 곤란성을 정량적으로 표현한 ES치가 평가에 유효한 것으로 알려져 있다(井上欣三·増田憲司·世良亘,1998).

조선환경 스트레스는 자연조건, 지형조건, 시설조건등 조선자 주변의 환경이 지리적, 물리적으로 조선수역을 제한하거나 조선상의 행동을 제약하는 등, 조선 자유를 제약할 경우 조선자에게 가해지는 스트레스의 크기를 의미한다.

조선환경스트레스치의 계산방법은 다음과 같다.

- 1) 자선의 현침로를 중심으로 좌우90°의 조선수역을 가정한다.
- 2) 현 침로를 중심으로 1°마다 침로별 위험의 현재화까지의 시간여유를 계산한다.
- 3) 각 침로마다 구한 위험 현재화까지의 시간여유에 대하여 조선자가 어느정도 위험감을 느끼는지 설문조사와 선박 조종시뮬레이타 실험에 의해 식(3-1)을 산출한다.

$$SJ_L = \alpha(R/V) + \beta \tag{3-1}$$

$$\alpha = 0.00092 \times \log_{10}(GT) + 0.0099$$

단, $GT \leq 10,000$ 인 경우

$$\alpha = 0.006671 \times \exp\{-7 \times 10^{-6}(GT)\}$$

단, $GT \geq 10,000$ 인 경우

$$\beta = -3.82$$

SJ_L : 장애물에 대한 위험의 현재화 까지 시간여유에 대해 조선자가 느끼는 위험감(실수)

R : 장애물까지의 거리(m)

V : 자선의 속력(Kts)

SJ_L 값과 조선자가 느끼는 위험관계는 0 부터 ±3 까지로 0 인 경우 안전과 위험중 어느쪽이라고 할 수 없다 라고 하고 +3 인 경우는 매우 안전하고 -3인 경우는 매우 위험하다고 하였다.

- 4) 방향에 따라 느끼는 위험감을 고려한 방향가중합수를 정면에선 1, 좌우 110° 방향에서는 0 이 되는 cos함수를 이용한다.

- 5) 식(3-2)와 같이 각 침로별 SJ_L 값을 (0, 6)으로 척도변환하고 각 1°마다의 위험감을 ±90° 범위에서 합산하여 그순간의 조선환경 스트레스치로 한다. 이러한 조선환경 스트레스치는 최소치 $0 \times 180^\circ = 0$, 최대치 $6 \times 180^\circ = 1000$ 로 정의되어 진다.

$$ES_L = \sum(SJ_L) \tag{3-2}$$

단, ES_L : 조선환경 스트레스(실수)

따라서 본 연구에서 이용한 조선환경 스트레스치는 연안유조선 선장 60명을 대상으로 통항상의 위험지역의 설문조사를 대상해역에서 조선환경 스트레스 산출지역으로 선정 하였다(금광수의 2명,2001). 그리고 연안 유조선의 평균전장, 평균속력, 통항 항로폭, 항로의 만곡도등을 고려하여 조선환경 스트레스치를 Table 5와 같이 산출하였다.

Table 5. Environmental Stress in waterways

대상해역	항로폭(마일)	항로의 만곡도(°도)	ES치
A	2	40	620
B	2	30	606
C	1.5	40	685
D	1.5	10	646
E	1.5	20	654
F	2	10	590
G	2	10	590
H	2	20	596

* 평균전장: 115m, 평균속력: 15Kts
 * A: 장안서 부근, B: 용도 부근, C: 명랑수도 부근, D: 여수해만 부근 E: 거제도 부근, F: 부산항 부근 G: 간절갑 부근 H: 동해항 부근

따라서 대상해역 항행 안전성 평가는 인간의 주관성이 개입된 자료와 평가요소 간 상호중복성이 있는 경우에도 평가할 수 있는 Choquet적분을 이용하여 종합 평가한다.

4. 해역별 항행 안전성 평가

4.1 Choquet적분에 의한 평가 알고리즘

Choquet적분에 의한 평가법은 아래 5단계에 의해 수행된다.
 단계 1: 설문자료를 토대로 의사결정자는 AHP에서 이용하는 일대비교(pairwise comparison) 자료에 의한 평가항목의 상대적 중요도(w) 및 평가항목간의 상호작용계수(λ)를 조사한다.

단계 2: 조사된 평가항목간의 상대적 중요도(w)와 평가속성간 상호작용계수(λ)로 식(2.4)를 이용하여 퍼지측도치($g(\cdot)$)를 구한다.

단계 3: 필요도 계수의 임계치를 설정하고 식(2.5)를 이용하여 평가항목의 필요도 계수를 산출하여 임계치 이하의 항목은 평가에서 제외하고 단계 1로 되돌아 간다.

단계 4: 자료 또는 기존의 평가기준에 의해 평가해역에 대한 평가항목별 퍼지 평가치 $h(\cdot)$ 를 구한다. $h(\cdot)$ 값은 대표평가요소에 대한 해역별 평가치를 구하여 이들 중 가장 큰 값을 1.00으로 하여 상대적인 비율을 취함으로써 구할 수 있다.

단계 5: 안전성 평가의 최하위 계층인 평가속성을 통합 평가한 Choquet적분을 수행하여 종합평가 결과를 산출한다.

이상의 결과를 흐름도로 나타내면 Fig.2와 같다.

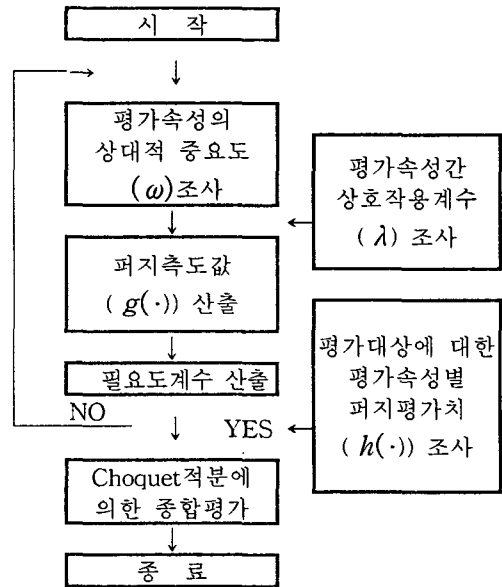


Fig.2 Flow chart of Choquet integral

4.2 퍼지측도치 $g(\cdot)$ 및 필요도 계수 ν_i 산출

연안해역의 항행 안전성을 평가하기 위하여 앞서 추출한 5개의 평가요소에 대해 계층분석법의 일대비교에 의한 임의의 두 항목간의 상대적 중요도를 면접 및 설문조사를 실시하였다.

각 평가요소별 설문 응답자의 수에 따라 기하평균한 일대비교 자료 및 계층분석법에 의해 구한 평가항목의 중요도 $w(\cdot)$ 는 Table 6과 같다. 여기서 각 행렬의 대표치는 표본의 기하평균을 정수화한 값이다.

최대고유치 $\lambda_{max} = 5.149$ 로서 중요도의 정합도(C.I.) 및 정합비(C.R.)는 각각 0.037과 0.03으로 통상 계층분석법에서 인정되는 0.1이하의 값으로 그 유효성이 인정된다.

Table 6 Pairwise comparison matrix and weight of evaluation factors by AHP

항목	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	w
x_1	1	1/4	1/4	1/5	1/3	0.055
x_2	4	1	1	1/3	1	0.173
x_3	4	1	1	1/3	2	0.203
x_4	5	3	3	1	2	0.413
x_5	3	1	1/2	1/2	1	0.156

$\lambda_{max}=5.149$, C.I.=0.037, C.R.=0.03

* 평균 안개발생일수(x_1), 항로의 복잡성(x_2), 해상교통량(x_3), 해상사고 발생건수(x_4), 위험물 취급량(x_5)

그리고 일대비교에 의한 상호작용의 계수 $\lambda(\cdot)$ 는 설문에 의한 자료를 바탕으로 두 평가항목간의 상호작용을 묻고 각각 상승 또는 상쇄작용을 질문하여 (-1, 1)의 공간에 위치하도록

하였으며, 상호작용정도에 대한 값은 약간 적다는 ±0.1, 보통이다 ±0.2, 약간 많다 ±0.3, 크다 ±0.4로 평가하여 동일 항목에 대한 각 개인의 값을 평균한 결과 Table 7과 같이 λ값은 -0.35이 된다.

Table 7 Interaction value of evaluation factors

항목	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
x_1	0	-0.41	-0.40	-0.43	-0.33
x_2		0	-0.36	-0.37	-0.29
x_3			0	-0.36	-0.34
x_5				0	-0.21
x_4					0

$\lambda = -0.35$

따라서 AHP에서 구한 중요도의 μ값과 상호작용 계수 λ를 구하였으므로 $g(x_1)$ 부터 $g(x_5)$ 까지의 평가항목에 대한 퍼지측도치 $g(\cdot)$ 는 Table 8과 같다.

Table 8 The value of fuzzy measure $g(\cdot)$

$g(\cdot)$	$g(x_1)$	$g(x_2)$	$g(x_3)$	$g(x_4)$	$g(x_5)$
퍼지측도치	0.057	0.176	0.206	0.401	0.160

한편 각 평가항목의 필요도 계수 ν_i 는 식(2.3)과 식(2.5)에 의하여 Table 9와 같이 산출 할 수 있다.

Table 9 Necessity of evaluation factors(ν_i)

항목	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
μ_i	0.393	0.358	0.365	0.343	0.293
ν_i	0.633	0.715	0.722	0.817	0.761

Table 9에서 보는 바와 같이 필요도 계수가 비교적 높게 산출되어 5개의 평가항목 모두 평가에 필요한 항목임을 알 수 있다.

4.3 퍼지평가치 $h(\cdot)$ 산출

연안해역의 항행 안전성을 평가하기 위하여 선정된 평가항목에 대한 각 해역별 평가치를 살펴보면 Table 10과 같다.

평균 안개발생일수의 평가치는 연평균 안개발생일수가 가장 빈발하고 지속시간이 긴 인천근해해역(A)의 평가치를 1.000으로 하면 부산근해해역(B)은 0.639으로 높게 나타나고 부산근해해역(F)가 0.018로 가장 낮게 나타났다.

항로의 복잡성의 평가치는 부산근해해역(F)를 1.000으로 하여 목포근해해역(C)가 0.979이며 동해근해해역(H)가 0.718로 가장 낮게 나타났다. 이는 부산근해해역의 경우 대형선의 입·출항 교통량이 많고, 목포근해해역의 경우 많은 섬과 좁은

항로의 폭 등으로 인하여 조선자의 조선부담치가 높다는 것을 알 수 있다.

해상교통량의 평가치의 경우 교통량이 가장 많은 목포근해해역(C)를 1.000으로 하여 여수부근해역(D)가 0.434로 비교적 높게 평가되고 동해근해해역(H)가 0.072로 가장 낮게 평가되었다.

해양사고 발생건수의 평가치는 사고발생건수가 가장 많은 목포근해해역(C)를 1.000으로 하여 다른 해역에 비해 비교적 해양사고 발생건수가 많은 여수부근해역(D)가 0.641로 나타났고 동해근해해역(H)가 0.287로 가장 낮게 평가 되었다.

Table 10 evaluation value of each evaluation factor

항목	$h(x_1)$	$h(x_2)$	$h(x_3)$	$h(x_4)$	$h(x_5)$
A	1.000	0.905	0.383	0.309	0.885
B	0.639	0.885	0.306	0.321	0.023
C	0.196	1.000	1.000	1.000	0.008
D	0.181	0.943	0.434	0.641	0.630
E	0.037	0.954	0.086	0.371	0.048
F	0.101	0.861	0.113	0.440	0.103
G	0.018	0.861	0.298	0.519	1.000
H	0.071	0.870	0.072	0.287	0.007

위험물 취급량의 평가치는 대상해역이 포함된 항만의 위험물 취급량이 가장 많은 포항근해해역(G)를 1.000하였다. 이 해역의 위험물 취급량이 많은 것은 대형유조선의 입·출항이 많기 때문으로 판단된다.

4.4 대상해역의 항행 안전성 종합평가

해역별 항행 안전성을 평가하기 위하여 이상의 절차에 의해 퍼지측도치 $g(\cdot)$ 와 퍼지 평가치 $h(\cdot)$ 를 구한 후 Choquet적분을 이용하여 종합평가를 실시하였다.

인천근해해역의 항행 안전성 평가점수는 Fig. 3과 같이 0.468이다.

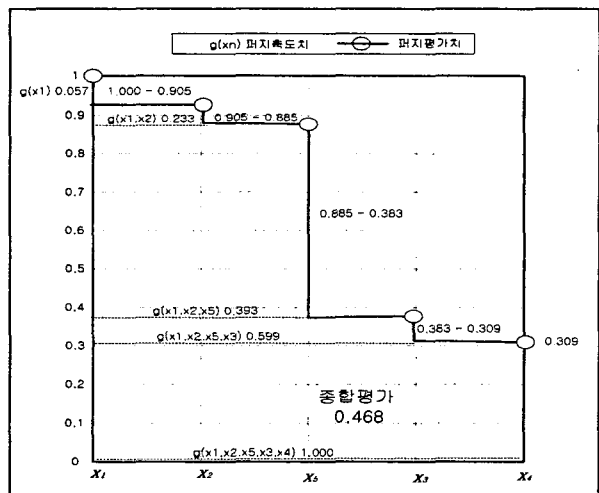


Fig. 3 The evaluation result of Incheon coastal area

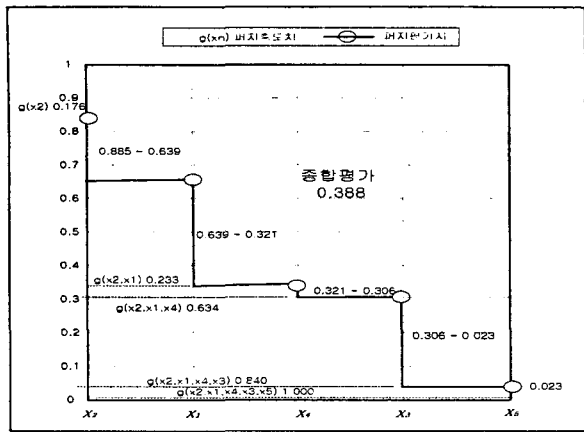


Fig. 4 The evaluation result of Gunsan coastal area

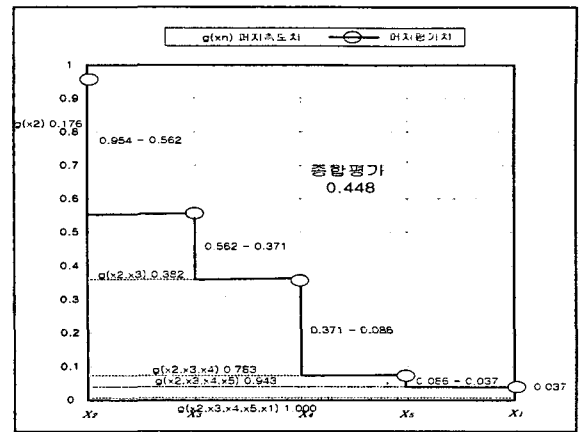


Fig. 7 The evaluation result of Geoje coastal area

근산근해해역의 항행 안전성 평가점수는 Fig. 4와 같이 0.388이다.

거제근해해역의 항행 안전성 평가점수는 Fig. 7과 같이 0.448이다.

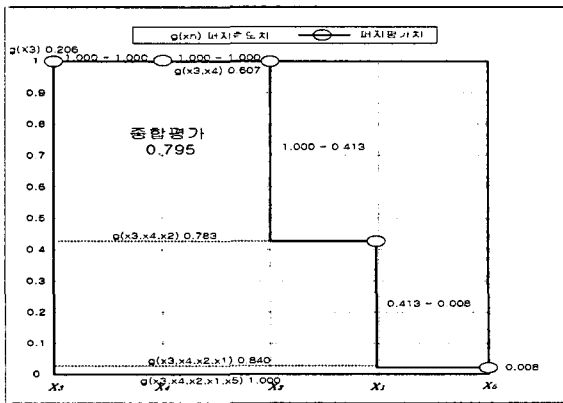


Fig. 5 The evaluation result of Mokpo coastal area

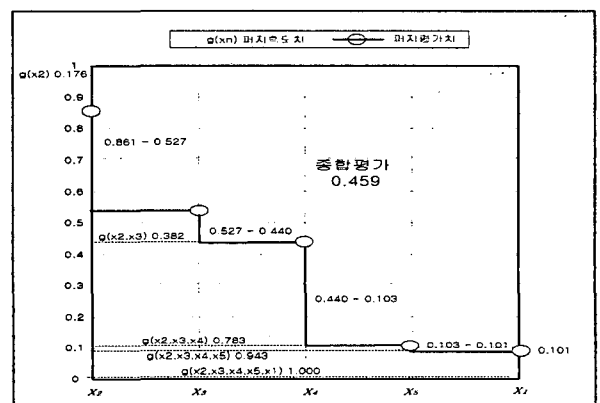


Fig. 8 The evaluation result of Busan coastal area

특포근해해역의 항행 안전성 평가점수는 Fig. 5와 같이 0.795이다.

부산근해해역의 항행 안전성 평가점수는 Fig. 8과 같이 0.459이다.

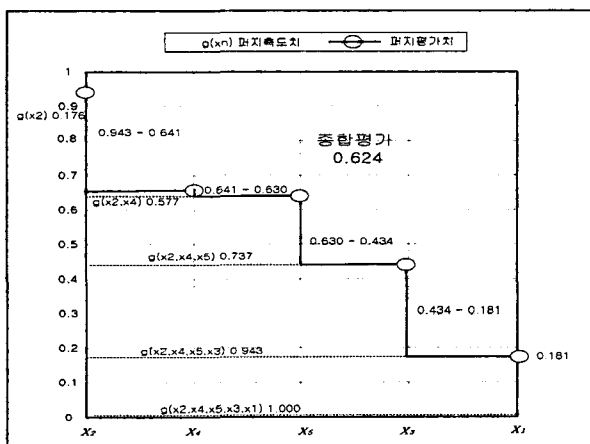


Fig. 6 The evaluation result of Yosu coastal area

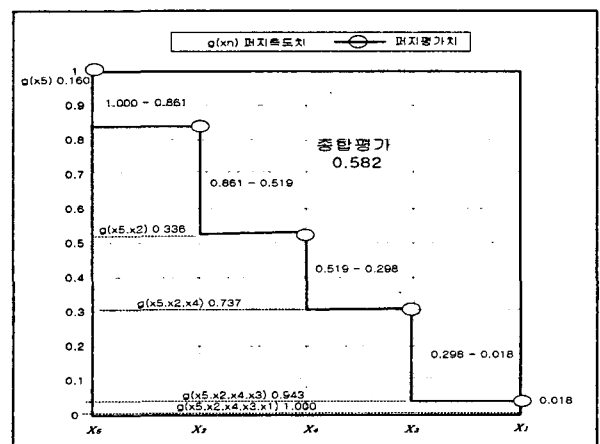


Fig. 9 The evaluation result of Pohang coastal area

이수근해해역의 항행 안전성 평가점수는 Fig. 6과 같이 0.624이다.

포항근해해역의 항행 안전성 평가점수는 Fig. 9와 같이 0.582이다.

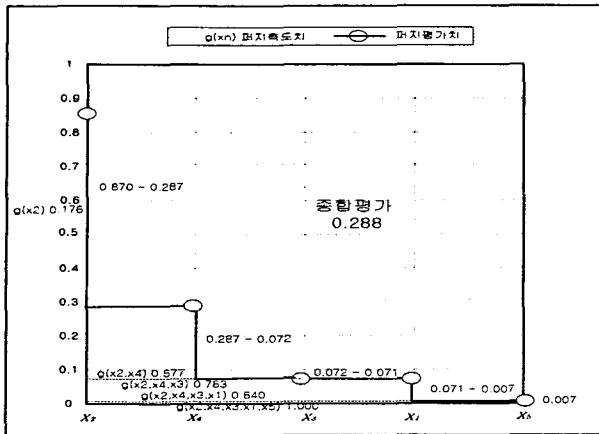


Fig. 10 The evaluation result of Donghae coastal area

동해근해해역의 항행 안전성 평가점수는 Fig 10과 같이 0.288이다.

이상의 Choquet 적분에 의한 항행 안전성 평가결과 8개 평가대상해역 중 목포근해해역이 다른 해역에 비하여 가장 안전성이 낮고, 다음으로 여수근해해역, 포항근해해역, 인천근해해역, 부산근해해역, 거제근해해역, 군산근해해역, 동해근해해역의 순서로 나타났다.

5. 결론

우리나라 연안해역은 해상교통량의 급증과 선박의 대형화, 고속화되고 있으며 해안의 매립 및 교량의 건설 등 항로폭의 감소로 인해 조선자의 조선부담이 증대되고 있다.

연안해역에서 항로주변의 교통 및 자연환경 등의 항행 환경이 복잡하게 변화함에 따라 조선자의 조선부담은 증대된다, 따라서 조선자의 주변환경에 대해 느끼는 위험성 측면에서 안전성 평가를 할 필요가 있다.

본 연구는 연안해역에 대한 항행 안전성을 평가하기 위하여 해상교통의 흐름과 연안 VTS의 관제범위 등을 고려하여 8개 평가 대상해역으로 구분하였다.

브레인스토밍법에 의해 추출된 평가항목인 평균 안개발생일수, 해상교통량, 해양사고 발생건수, 위험물 취급량 등은 정량적 자료인 통계자료에 의해 평가치를 산출하였고 항로의 복잡성 평가항목은 대상해역의 조선환경 스트레스치를 이용하여 평가치를 산출하였다. 대상해역의 항행 안전성 평가는 퍼지측도와 Choquet적분을 이용하여 종합평가를 행하였다.

각 해역별 항행 안전성 종합평가 결과 8개 해역 중 목포근해해역이 가장 안전성이 낮고, 다음으로 여수근해해역, 포항근해해역, 인천근해해역, 부산근해해역, 거제근해해역, 군산근해해역, 동해근해해역의 순서로 나타났다.

따라서 항행 안전성이 낮게 나타나고 있는 목포근해해역 및 여수근해해역 등의 해역에 대한 항행보조시설의 확충, 연안 VTS 설치 등을 통하여 해상교통을 적극적으로 관리하여

해양사고를 미연에 방지할 필요가 있다.

본 연구는 연안해역의 항행 안전성 평가를 조선자가 주변 환경에 대해 느끼는 조선부담감을 고려하여 평가를 하였다는 데 의의가 있다.

참고 문헌

- [1] 금중수·윤명오·장운재(2001), 퍼지적분모델을 이용한 연안해역의 항행 안전성 평가에 관한 연구, 한국항해학회지 제25권, 4호.
- [2] 이철영·이석태(1993), 상호관련성을 지닌 계층구조형 문제의 평가 알고리즘, 한국항만학회, 제7권, 1호.
- [3] 大西眞一·今井英幸·河口至商(1997), ファジィAHPにおける感度分析を用いた重要度の安全性の評価, 日本ファジィ學會誌, VOL.9, NO.1.
- [4] 若林高明·山田村保·大内東(1997), 順序尺度に基づく階層分析法, 日本ファジィ學會誌, VOL.9, NO.1.
- [5] 喜多秀行(1993), 航路体系代替案の評価法, 日本航海學會誌第95号.
- [6] 孫永瑤·鬼澤武久(1997), 人間の評価モデルにおける評価要素の選擇に関する一手法, 日本ファジィ學會誌VOL.9, NO. 6.
- [7] 井上欣三·増田憲司, 世良亘(1998), 海上交通安全評價の技術的ガイドライン策定に関する研究- I -環境負荷の概念に基づく操船の困難性評價-日本航海學會第97回講演會にて講演
- [8] T.L. Satty & K.P. Kearns(1985), *Analytical Planning*, Pergamon press.
- [9] T.L. Satty(1980), A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structure, *Journal of Mathematical psychology* Vol.15, No.3.
- [10] A.Verikas·A.Lipnickas·K.Malmqvist·M.Bacauskiene A.Gelz-inis(1999), Soft combination of neural classifiers: A comparative study, *Pattern Recognition Letters* 20.
- [11] A.Lipnickas, Classifiers fusion with data dependent ggregation schemes, *7th International Conference on nformation Networks, Systems and Technologies ICINASTE*, 2001.

원고접수일 : 2003년 3월 28일

원고채택일 : 2003년 6월 12일