

# 퍼지측도 및 쇼케적분을 이용한 연안해역의 통항 안전성 평가에 관한 연구

금종수\* · 양원재\*\*

\*,\*\*목포해양대학교 해상운송시스템학부 교수

## Evaluation of the Navigational Safety in Coastal Waterway using Fuzzy measures and Choquet Integral

Jong-Soo Keum\* · Won-Jae Yang\*\*

\*, \*\* Division of Maritime transportation system, Mokpo National Maritime University, Mokpo 530-729, Korea

**요 약** : 해상에서 해양사고를 예방하고 통항안전성을 증대시키기 위해 연안 VTS와 항행보조시설이 적극 검토되고 있으나 막대한 비용과 예산이 든다. 따라서 연안해역에 통항 안전성을 평가하여 우선순위를 결정해야하고 통항 안전성평가는 조선자의 관점에서 평가되어야 한다. 한편, 인간의 사고에는 많은 형태의 애매함이 존재하기 때문에 이러한 애매함을 반영하기 위해 본 연구에서는 퍼지측도와 쇼케적분을 이용하였다. 본 연구의 목적은 퍼지측도와 쇼케적분을 이용하여 조선부담감의 관점에서 평가모형을 개발하고 우리나라 연안해역을 8개로 나누고 연안 VTS와 항행보조시설 설치의 우선순위를 결정하기 위한 평가를 실시하였다.

**핵심용어** : 퍼지측도, 환경스트레스, 쇼케적분, 연안VTS, 연안해역, 조선부담감

**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. The coastal VTS and navigational aids are considered as one of the effective methods to promote marine safety but they need relatively huge amount of budgets to build. Thus prior to establishing these coastal VTS and navigational aids, it should be evaluated the navigational safety level in the coastal waterways from the Environmental Stress. 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.

**Key words** : Fuzzy Measure, Environmental Stress, Choquet Integral, Coastal VTS, Coastal Waterway, Operational Stress

### 1. 서 론

우리나라는 수출입 물동량의 99.8%를 해상운송에 의존하고 있으며, 도로교통의 정체 등으로 인하여 연안을 이용하는 화물수송 부담을 또한 높아져 연안 항로를 항해하는 선박이 급증되고 있다. 또한 선박이 대형화 및 고속화되고, 유조선 등 위험화물 운반선 또한 지속적으로 증가하고 있으며 양식어장의 확장 등에 따라 항로폭은 감소되고 있고, 연안항로에 대한 관리의 부족 등으로 인하여 해양사고가 빈발하고 있다.

이러한 해양사고는 결국 인명의 사상, 선박과 화물의 손상, 침몰 및 해양환경오염 등 막대한 피해로 이어지고 있어 국가적인 손실뿐만 아니라 인접국까지 그 영향을 미치고 있다. 따라서 해양사고로 인한 막대한 인적·물적 손해를 줄이고 해

양환경을 보호하기 위한 방안으로 항행보조시설의 확충 및 연안 VTS(Vessel Traffic Service)의 설치 등을 통해 해상교통류를 적극적으로 관리하고자 하는 대책이 수립되고 있다. 그러나 항행보조시설의 확충, 연안 VTS의 설치 등에는 막대한 비용이 소요되므로 설치 이전에 대상해역에 대한 선박통항 안전성을 평가하여 우선 순위를 결정할 필요가 있다.

한편 연안해역에서 항로주변의 교통 및 자연환경 등의 통항 환경이 복잡하게 변화함에 따라 조선자가 느끼는 조선부담감도 증대된다. 따라서 선박통항 안전성 평가시 조선자가 주변 환경으로부터 느끼는 위험성을 고려하여 해역의 안전성을 평가할 필요가 있다.

본 연구에서는 연안해역의 통항안전성을 평가하기 위해 브레인스토밍(Brainstorming)법에 의해 6개의 평가항목을 추출

\* 대표저자 : 금종수(중신회원), jskeum@mmu.ac.kr 061)240-7075

\*\* 정회원, wjyang@mmu.ac.kr

하였다.

평가항목 중 항로표지시설의 수, 안개발생일수, 해상교통량, 해양사고 발생건수, 위험물 취급량은 정량적인 통계자료를 이용하였다. 그러나 항로의 복잡성은 그 해역을 통항하는 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·世良亘,1998).

평가문제에서는 계층분석법이 광범위하게 사용되고 있으나, 통항 안전성 평가와 같이 평가요소에 상호 중복이 있는 비가법적인 평가에는 한계가 있다. 그러므로 가법성을 가정한 계층분석법을 보완한 평가법으로 퍼지측도와 Choquet적분에 의한 평가법이 이용되고 있다(孫永璿·鬼澤武久,1997).

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

## 2. 이론적 배경

### 2.1 조선환경 스트레스치

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, 시설조건 등 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 선박조종 시뮬레이터 실험에 의해 식(1)을 산출한다.

$$SJ_L = \alpha(R/V) + \beta \quad (1)$$

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

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  $\pm 3$  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(2)와 같이 각 침로별  $SJ_L$  값을 (0, 6)으로 척도변환하고 각 1°마다의 위험감을  $\pm 90^\circ$  범위에서 합산하여 그 순간의 조선환경 스트레스치로 한다. 이러한 조선환경 스트레치는 최소치  $0 * 180^\circ = 0$ , 최대치  $6 * 180^\circ \approx 1000$ 로 정의되어 진다.

$$ES_L = \sum(SJ_L) \quad (2)$$

단,  $ES_L$  : 조선환경 스트레스(실수)

### 2.2 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:  $g(\emptyset) = 0, g(X) = 1$  (유계성)

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

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

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

퍼지측도는 스게노가 제안한  $\lambda$ -퍼지측도( $g_\lambda$ )가 주관적 측도의 모델로서 많이 이용되고 있다.

스게노가 제안한  $\lambda$ -퍼지측도( $g_\lambda$ )는 식(3)과 같이 퍼지측도에 매개변수( $\lambda$ )를 도입한 형태이다. 단, 여기서  $\lambda$ -퍼지측도  $g_\lambda$ 는 단조성을 갖는다.

$$g_\lambda(A \cup B) = g_\lambda(A) + g_\lambda(B) + \lambda g_\lambda(A)g_\lambda(B) \quad (3)$$

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

식(3)의  $\lambda$ 는 + 또는 - 값을 가짐으로서 각각 상승작용 또는 상쇄작용을 나타내며,  $\lambda$ 가 0 값을 취할 때  $\lambda$ -퍼지측도( $g_\lambda$ )는 확률측도가 되어 가법성을 만족시키게 된다.

$\lambda$ -퍼지측도( $g_\lambda$ )는 식(3)을 이용하여 서로 소(素)인 부분집합 열  $\{A_1, A_2, A_3, \dots, A_n\}$ 에 대하여 식(4)와 같은 일반식을 유도할 수 있다.

$$g_\lambda \left( \bigcup_{i=1}^n A_i \right) = \frac{1}{\lambda} \left( \prod_{i=1}^n (1 + \lambda g_\lambda(A_i)) - 1 \right) \quad (4)$$

단,  $A_i \cap A_j = \emptyset, i \neq j$

한편,  $g_\lambda(A) = f(u), g_\lambda(B) = f(v)$ 으로 하면 식(3)은 식(5)를 만족한다.

$$f(u+v) = f(u) + f(v) + \lambda f(u)f(v) \quad (5)$$

$\lambda \neq 0$  으로 하면,  $u = v$  일때

$$f(2u) = ((1 + \lambda f(u)^2) - 1) / \lambda \quad (6)$$

가 된다. 따라서 귀납법에 의하여 음이 아닌 정수  $n$  에 대한 다음의 식(7)이 성립한다.

$$f(nu) = ((1 + \lambda f(u)^n) - 1) / \lambda \quad (7)$$

또한,  $m$  을 음이 아닌 정수라 하고,  $u = (m \cdot t) / n$  이고,  $t \in [0, 1], m/n \leq 1$  라고 하면,

식(7) 우변의  $u$ 를  $(m \cdot t) / n$  라 하여,  $f((m \cdot t) / n)$ 에 대하여 전개하였을 때 식(7)은 식(8)과 같이 변화된다.

$$f(mt/n) = ((1 + \lambda f(u)^{1/n}) - 1) / \lambda = ((1 + \lambda f(t)^{m/n}) - 1) / \lambda \quad (8)$$

식(8)에서  $t=1$ 이라 두고,  $f(1) = 1$ 을 고려하면 식(9)가 성립한다.

$$f(u) = ((1 + \lambda)^u - 1) / \lambda \quad (\lambda \neq 0) \quad (9)$$

따라서 식(9)가 모든 유리수  $u \in [0, 1]$ 에 대하여 성립하게 된다. 여기에서  $f$ 는 연속으로 가정하였으므로 식(7)은 모든 실수  $u \in [0, 1]$ 에 대하여 성립하며, 특히 식(5)에서  $\lambda = 0$ 일때,  $f(1) = 1$ 과 연속성으로부터  $f(u) = u$ 를 얻을 수 있게 된다. 지금까지의 과정은 모든  $\lambda \in (0, \infty)$  에 대하여 성립한다. 따라서 함수  $f_\lambda$ 는 식(10)과 같이 정리할 수 있다.

$$f_\lambda(u) = \begin{cases} ((1 + \lambda)^u - 1) / \lambda & \text{if } \lambda \neq 0 \\ u & \text{if } \lambda = 0 \end{cases} \quad (10)$$

따라서 확률측도  $u$ 는 계층분석법에서 구한 중요도  $w(\cdot)$ 와 같은 의미를 가지고 있으며,  $f_\lambda(u)$ 는 퍼지측도  $g(\cdot)$ 이다 (塚本弥八郎, 1979).

한편 평가요소  $i$  및  $j$ 간의 상호작용계수( $\lambda_{ij}$ )는 언어적인 표현 방법을 사용하는 것이 널리 알려져 있다. 본 연구에서도 언

어적인 표현방법을 이용하여 상호작용계수를 구하는데 요소간에 상호작용 여부를 먼저 질문하고, 다음으로 상승작용이나 상쇄작용 중 어느 하나에 대하여 0 및 (-1, 0)과 (0, 1)로 응답을 구하였다. 평가요소간의 상호작용계수는 식(11)로 산출할 수 있다.

$$\mu_i = \sum_{j=1}^n \lambda_{ij} / (n-1) \quad (i \neq j) \quad (11)$$

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

따라서 상호작용계수( $\lambda$ )를 도입함으로써 계층평가의 일관성을 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(11)로 부터 평가에 필요한 항목으로 선정할 수 있는 필요도 계수  $\nu_i$ 를 식(12)를 이용하여 산출할 수 있다.

$$\nu_i = 1 + \mu_i(1 - g_k) \quad (-1 \leq \mu_i < 0) \quad (12)$$

식(12)는 중요도가 클수록, 또  $\mu_i$ 가 0에 가까울수록 그 값이 크도록 되어있다. 따라서  $\nu_i$ 의 값에 적당한 임계값을 적용하여 평가항목의 필요성을 검토 할 수 있다.

### 2.3 Choquet적분

통형 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 주어진다. 이때 함수  $h$ 의 퍼지측도  $g$ 에 관한 Choquet적분은 식(13)과 같이 정의된다(孫永瑤 · 鬼澤武久, 1997).

$$(c) \int h dg = \int_0^\infty g(H_a) da \quad (13)$$

단,  $H_a = \{x | h(x) \geq a\}$ 이다.

일반적으로 평가문제에는 평가항목의 집합  $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ 은 유한집합이므로 함수  $h(x_i)$ 는  $h(x_1) = a_1 \geq h(x_2) = a_2 \geq h(x_3) \dots \geq h(x_n) = a_n$  가 되도록  $x_i$ 를 결정하면, 종합평가치는 식(14)로 결정된다.

$$(c) \int h dg = \sum_{i=1}^n (a_i - a_{i-1}) g(H_i) \quad (14)$$

이상의 Choquet적분 과정을 Fig. 1에 보이고 있다.

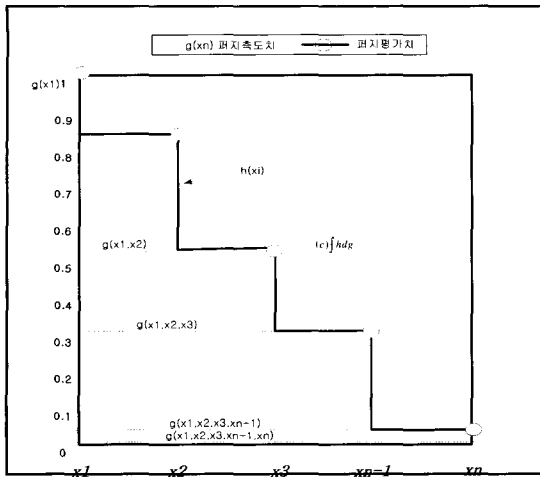


Fig. 1 Process of Choquet integral

### 3. 대상해역 범위 및 특성

#### 3.1 평가항목의 선정 및 대상해역의 범위

본 연구에서는 선장, 해양 수산분야 대학원생 및 연구원 등 전문가 20여명을 대상으로 브레인스토밍법을 이용하여 연안해역의 통항 안전성을 평가하기 위한 평가항목을 추출하였다. 브레인스토밍법은 여러 전문가가 한가지 주제에 대해 아이디어를 창출하는 방법으로 집단사고의 대표적인 방법으로 널리 사용되고 있다. 따라서 브레인스토밍법에 의한 평가항목의 추출결과 항로표지시설( $x_1$ ), 평균 안개발생일수( $x_2$ ), 항로의 복잡성( $x_3$ ), 해상교통량( $x_4$ ), 해양사고 발생건수( $x_5$ ), 위험물 취급량( $x_6$ )등 6개로 선정되었다.

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. 2와 같다.

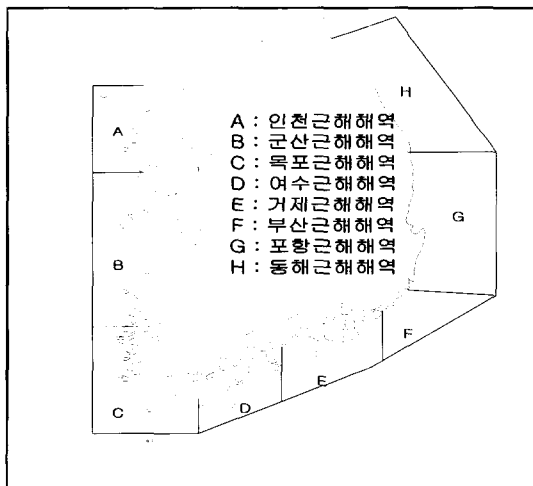


Fig. 2 Candidated areas of evaluation

#### 3.2 대상해역의 특성

##### 3.2.1 항로표지시설

2001년 우리나라 연안의 항로표지시설은 Table 1과 같이 제주지역을 제외하고 대상해역 전체 1990기이고, 해안선길이는 11,279.5km인 것으로 조사되었다. 항로표지시설은 수가 많을수록 해역의 안전성이 높다고 할 수 있지만 본 연구에서 평가치로 사용한 항로표지 1기당 담당 해안선길이는 1기당 담당 해안선 길이가 길수록 안전성이 낮게 나타난다.

항로표지 1기당 담당 해안선길이는 평균 5.67km이며, 목포 근해해역이 13.30km로 항로표지1기당 담당해안선이 가장 길고, 부산근해해역이 0.79km로 가장 짧은 것으로 나타났다.

Table 1 Navigational Aids in 8 sectors

대상해역	항로표지시설 (A)기	해안선길이 (B) Km	항로표지 1기당 해안선길이 (B/A) Km
A	387	1247.5	3.22
B	284	1413.5	4.98
C	257	3417.5	13.30
D	342	2483.2	7.26
E	261	2042.7	7.83
F	160	126.2	0.79
G	206	332.4	1.61
H	93	216.5	2.33

##### 3.2.2 평균 안개발생일수

지난 10년간(1993년~2002년) 우리나라 해역별 연평균 안개 발생일수는 Table 2와 같다.

연평균 안개발생일수는 인천근해해역이 50.3일로 가장 높게 나타났다.

Table 2 Frequency of foggy days in 8 sectors

대상해역	발생일수
A	50.3
B	46.4
C	26.7
D	25.2
E	14.8
F	18.3
G	9.2
H	14.5

##### 3.2.3 항로의 복잡성

대상해역의 조서환경 스트레스치는 연안 유조선의 평균전장, 평균속력, 통항 항로폭, 항로의 만곡도등을 고려하여 Table 3과 같이 산출하였다.

Table 3 Environmental Stress in 8 sectors

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: 옹도 부근, C: 명랑수도 부근, D: 여수해만 부근 E: 거제도 부근, F: 부산항 부근 G: 간절감 부근 H: 동해항 부근

3.2.4 해상교통량

전체 8개 해역별 2002년도의 해상교통량의 기종점 분석결과 해상교통량은 Table 4와 같이 목포근해해역이 252,046척으로 가장 교통량이 많고, 동해근해해역의 교통량이 18,093척으로 가장 적은 것으로 나타났다.

Table 4 Traffic volume in 8 sectors

대상해역	외항선	연안선	여객선	어선	합계
A	20,607	22,555	50,357	2,940	96,459
B	3,801	22,513	38,803	12,020	77,137
C	1,163	21,162	206,408	23,314	252,046
D	17,846	41,683	32,051	17,810	109,390
E	9,436	36,734	65,743	29,766	141,680
F	50,471	44,889	28,890	8,477	132,728
G	29,395	35,596	3,594	6,526	75,111
H	1,661	8,094	3,594	4,744	18,093

한편, Fig. 3은 각 해역별로 해상교통량의 기종점 분석 결과를 그림으로 나타내었다.

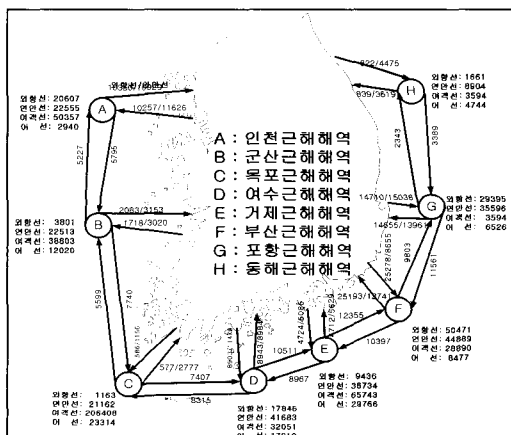


Fig. 3 Dynamic traffic volume in 8 sectors

3.2.5 해양사고 발생건수

각 해역별로 지난 10년간(1993년~2002년) 해양사고 발생건수는 Table 5와 같이 목포근해해역이 593건으로 가장 빈발하였으며, 동해근해해역이 174건으로 가장 적게 발생하고 있다.

Table 5 Statistics of marine casualties in 8 sectors

대상해역	해양사고 발생건수
A	184
B	189
C	593
D	381
E	224
F	232
G	309
H	174

3.2.6 위험물 통항량

대상해역에 대한 2002년의 위험물 취급량은 Table 6과 같이 포항근해해역이 207,543천톤으로 가장 많이 취급하였으며 가장 적은 해역은 동해근해해역이 1,411천톤 취급하였다.

Table 6 Weight of dangerous cargo volumes in 8 sectors

대상해역	위험화물량(천톤)
A	183,747
B	4,838
C	1,731
D	130,822
E	9,862
F	21,348
G	207,543
H	1,411

따라서 대상해역 통항 안전성 평가는 인간의 주관성이 개입된 자료와 평가요소 간 상호 중복성이 있는 경우에도 평가할 수 있는 Choquet적분을 이용하여 종합 평가한다.

4. 해역별 통항 안전성 평가

4.1 Choquet적분에 의한 평가 알고리즘

Choquet적분에 의한 평가법은 아래 5단계에 의해 수행된다. 단계 I: 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(11)을 이용하여 퍼지측도치(g(·))를 구한다.

단계 3: 필요도 계수의 임계치를 설정하고 식(12)를 이용

하여 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 대표 평가요소에 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. 4와 같다.

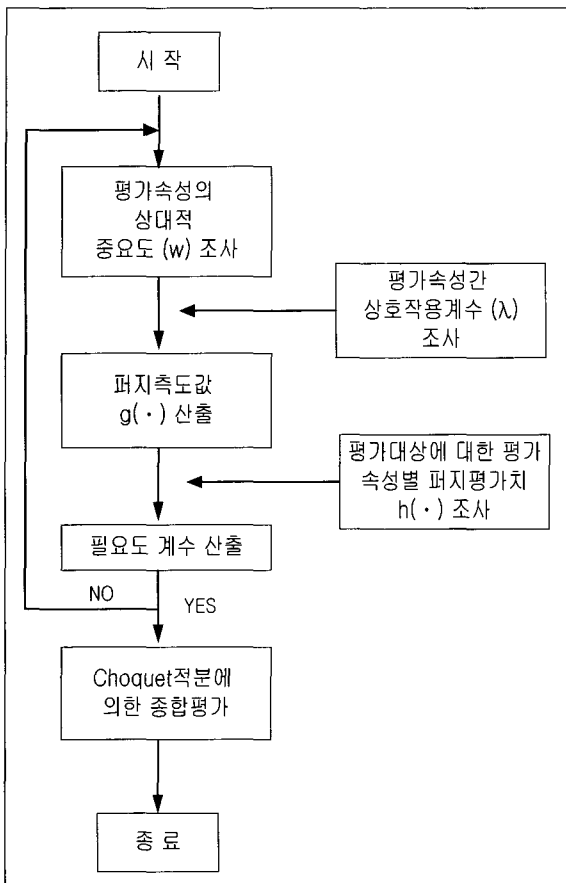


Fig. 4 Flow chart of Choquet integral

4.2 퍼지측도치  $g(\cdot)$  및 필요도 계수  $\nu_i$  산출

연안해역의 통항 안전성을 평가하기 위하여 앞서 추출한 6개의 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 7과 같다. 여기서 각 행렬의 대표치는 표본의 기하평균을 정수화한 값이다.

최대고유치  $\lambda_{max} = 6.127$ 로서 중요도의 정합도(C.I.) 및 정합비(C.R.)는 각각 0.025과 0.02으로 통상 계층분석법에서 인정되는 0.1이하의 값으로 그 유효성이 인정된다.

Table 7 Pairwise comparison matrix and weight of evaluation factors by AHP

항목	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$w$
$x_1$	1	3	1/2	1/3	1/4	2	0.10
$x_2$	1/3	1	1/4	1/5	1/6	1/2	0.04
$x_3$	2	4	1	1/2	1/3	3	0.16
$x_4$	3	5	2	1	1/2	4	0.26
$x_5$	4	6	3	1/2	1	5	0.37
$x_6$	1/2	2	1/3	1/4	1/5	1	0.07

$\lambda_{max}=6.127$ , C.I.=0.025, C.R.=0.02

\* 항로표지시설수( $x_1$ ), 평균 안개발생일수( $x_2$ ), 항로의 복잡성( $x_3$ ), 해상교통량( $x_4$ ), 해양사고 발생건수( $x_5$ ), 위험물 취급량( $x_6$ )

그리고 일대비교에 의한 상호작용계수  $\lambda$ 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  $\pm 0.1$ , 보통이다  $\pm 0.2$ , 약간 많다  $\pm 0.3$ , 크다  $\pm 0.4$ 로 평가하여 동일 항목에 대한 각 개인의 값을 평균한 결과 Table 8과 같이  $\lambda$ 값은 -0.36이 된다.

Table 8 Interaction value of evaluation factors

항목	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$
$x_1$	0	-0.45	-0.38	-0.13	-0.43	-0.33
$x_2$		0	-0.41	-0.40	-0.41	-0.36
$x_3$			0	-0.36	-0.37	-0.29
$x_4$				0	-0.36	-0.34
$x_5$					0	-0.21
$x_6$						0

$\lambda = -0.36$

따라서 계층분석법에서 구한 중요도의  $w$ 값과 상호작용 계수  $\lambda$ 를 구하였으므로 식(10)에 의해  $g(x_1)$ 부터  $g(x_6)$ 까지의 평가항목에 대한 퍼지측도치  $g(\cdot)$ 는 Table 9와 같다.

Table 9 The value of fuzzy measure  $g(\cdot)$

$g(\cdot)$	퍼지측도치	표준화
$g(x_1)$	0.12	0.10
$g(x_2)$	0.05	0.04
$g(x_3)$	0.19	0.16
$g(x_4)$	0.30	0.26
$g(x_5)$	0.42	0.36
$g(x_6)$	0.09	0.08
합계	1.17	1.00

한편 각 평가항목의 필요도 계수  $\nu_i$ 는 식(11)과 식(12)에 의하여 Table 10과 같이 산출 할 수 있다.

Table 10 Necessity of evaluation factors( $\nu_i$ )

항목	$\mu_i$	$\nu_i$
$x_1$	0.34	0.70
$x_2$	0.41	0.61
$x_3$	0.36	0.71
$x_4$	0.32	0.78
$x_5$	0.36	0.79
$x_6$	0.31	0.72

Table 10에서 보는 바와 같이 필요도 계수가 비교적 높게 산출되어 6개의 평가항목 모두 평가에 필요한 항목임을 알 수 있다.

4.3 퍼지평가치  $h(\cdot)$  산출

연안해역의 통항 안전성을 평가하기 위하여 선정된 평가항목에 대한 각 해역별 평가치는 Table 11과 같이 위험성이 가장 높은 값을 1.00으로 하여 상대적인 값을 산출하는 것이 널리 알려져 있다(김 외 (2001), 이 외(1993)).

항로표지시설의 평가치는 항로표지 1기당 담당 해안선길이가 가장 긴 목포근해해역(C)을 1.00으로 하여 포항근해해역이 0.12로 가장 낮은 것으로 나타났다.

평균 안개발생일수의 평가치는 연평균 안개발생일수가 가장 많은 인천근해해역(A)의 평가치를 1.00으로 하면 군산근해해역(B)은 0.92로 높게 나타나고 울산근해해역(G)가 0.18로 가장 낮게 나타났다.

항로의 복잡성의 평가치는 목포근해해역(C)을 1.00으로 하여 거제근해해역(E)가 0.95이며 부산근해해역(F), 울산근해해역(G)가 0.86으로 가장 낮게 나타났다. 이는 목포근해해역과 거제근해해역의 경우 많은 섬과 좁은 항로의 폭 등으로 인하여 조선자의 조선부담치가 높다는 것을 알 수 있다.

해상교통량의 평가치의 경우 교통량이 가장 많은 목포근해해역(C)을 1.00으로 하여 거제근해해역(E)가 0.56으로 비교적 낮게 평가되고 동해근해해역(H)가 0.07로 가장 낮게 평가되었다.

Table 11 Overall evaluation value  $h(\cdot)$

항목	$h(x_1)$	$h(x_2)$	$h(x_3)$	$h(x_4)$	$h(x_5)$	$h(x_6)$
A	0.24	1.00	0.91	0.38	0.31	0.89
B	0.37	0.92	0.89	0.31	0.32	0.02
C	1.00	0.53	1.00	1.00	1.00	0.01
D	0.55	0.50	0.94	0.43	0.64	0.63
E	0.59	0.29	0.95	0.56	0.38	0.05
F	0.06	0.36	0.86	0.53	0.39	0.10
G	0.12	0.18	0.86	0.30	0.52	1.00
H	0.18	0.29	0.87	0.07	0.29	0.01

해양사고 발생건수의 평가치는 사고발생건수가 가장 많은 목포근해해역(C)을 1.00으로 하여 다른 해역에 비해 비교적 해양사고 발생건수가 많은 여수근해해역(D)가 0.64로 나타났

고 동해근해해역(H)가 0.29로 가장 낮게 평가 되었다.

위험물 취급량의 평가치는 대상해역이 포함된 항만의 위험물 취급량이 가장 많은 포항근해해역(G)을 1.00하였다. 이 해역의 위험물 취급량이 많은 것은 대형유조선의 입·출항이 많기 때문으로 판단된다.

4.4 대상해역의 통항 안전성 종합평가

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

인천근해해역의 통항 안전성 평가점수는 Table 12와 같이 0.49이다.

Table 12 The evaluation result of Incheon coastal area by Choquet integral

퍼지평가치		퍼지측도치		평가점수
$h(x_2) - h(x_3)$	0.09	$g(x_2)$	0.04	
$h(x_3) - h(x_6)$	0.02	$g(x_2, x_3)$	0.20	
$h(x_6) - h(x_4)$	0.51	$g(x_2, x_3, x_6)$	0.28	
$h(x_4) - h(x_5)$	0.07	$g(x_2, x_3, x_6, x_4)$	0.54	
$h(x_5) - h(x_1)$	0.07	$g(x_2, x_3, x_6, x_4, x_5)$	0.90	
$h(x_1)$	0.24	$g(x_2, x_3, x_6, x_4, x_5, x_1)$	1.00	

군산근해해역의 통항 안전성 평가점수는 Table 13과 같이 0.41이다.

Table 13 The evaluation result of Gunsan coastal area by Choquet integral

퍼지평가치		퍼지측도치		평가점수
$h(x_2) - h(x_3)$	0.3	$g(x_2)$	0.04	
$h(x_3) - h(x_1)$	0.52	$g(x_2, x_3)$	0.20	
$h(x_1) - h(x_5)$	0.05	$g(x_2, x_3, x_1)$	0.30	
$h(x_5) - h(x_4)$	0.01	$g(x_2, x_3, x_1, x_5)$	0.66	
$h(x_4) - h(x_6)$	0.29	$g(x_2, x_3, x_1, x_5, x_4)$	0.92	
$h(x_6)$	0.02	$g(x_2, x_3, x_1, x_5, x_4, x_6)$	1.00	

목포근해해역의 통항 안전성 평가점수는 Table 14와 같이 0.89이다.

Table 14 The evaluation result of Mokpo coastal area by Choquet integral

퍼지평가치		퍼지측도치		평가점수
$h(x_3) - h(x_4)$	0.00	$g(x_3)$	0.16	
$h(x_4) - h(x_5)$	0.00	$g(x_3, x_4)$	0.42	
$h(x_5) - h(x_1)$	0.00	$g(x_3, x_4, x_5)$	0.78	
$h(x_1) - h(x_2)$	0.47	$g(x_3, x_4, x_5, x_1)$	0.88	
$h(x_2) - h(x_6)$	0.52	$g(x_3, x_4, x_5, x_1, x_2)$	0.92	
$h(x_6)$	0.01	$g(x_3, x_4, x_5, x_1, x_2, x_6)$	1.00	

여수근해해역의 통항 안전성 평가점수는 Table 15와 같이 0.62이다.

Table 15 The evaluation result of Yosu coastal area by Choquet integral

퍼지평가치	퍼지측도치		평가점수
$h(x_3)-h(x_5)$	0.30	$g(x_3)$	0.16
$h(x_5)-h(x_6)$	0.01	$g(x_3, x_5)$	0.52
$h(x_6)-h(x_1)$	0.08	$g(x_3, x_5, x_6)$	0.60
$h(x_1)-h(x_2)$	0.05	$g(x_3, x_5, x_6, x_1)$	0.70
$h(x_2)-h(x_4)$	0.07	$g(x_3, x_5, x_6, x_1, x_2)$	0.74
$h(x_4)$	0.43	$g(x_3, x_5, x_6, x_1, x_2, x_4)$	1.00

거제근해해역의 통항 안전성 평가점수는 Table 16과 같이 0.62이다.

Table 16 The evaluation result of Geoje coastal area by Choquet integral

퍼지평가치	퍼지측도치		평가점수
$h(x_3)-h(x_1)$	0.36	$g(x_3)$	0.16
$h(x_1)-h(x_4)$	0.03	$g(x_3, x_1)$	0.26
$h(x_4)-h(x_5)$	0.18	$g(x_3, x_1, x_4)$	0.52
$h(x_5)-h(x_2)$	0.09	$g(x_3, x_1, x_4, x_5)$	0.88
$h(x_2)-h(x_6)$	0.24	$g(x_3, x_1, x_4, x_5, x_2)$	0.92
$h(x_6)$	0.05	$g(x_3, x_1, x_4, x_5, x_2, x_6)$	1.00

부산근해해역의 통항 안전성 평가점수는 Table 17과 같이 0.44이다.

Table 17 The evaluation result of Busan coastal area by Choquet integral

퍼지평가치	퍼지측도치		평가점수
$h(x_3)-h(x_4)$	0.33	$g(x_3)$	0.16
$h(x_4)-h(x_5)$	0.14	$g(x_3, x_4)$	0.42
$h(x_5)-h(x_2)$	0.03	$g(x_3, x_4, x_5)$	0.78
$h(x_2)-h(x_6)$	0.26	$g(x_3, x_4, x_5, x_2)$	0.82
$h(x_6)-h(x_1)$	0.04	$g(x_3, x_4, x_5, x_2, x_6)$	0.90
$h(x_1)$	0.06	$g(x_3, x_4, x_5, x_2, x_6, x_1)$	1.00

포항근해해역의 통항 안전성 평가점수는 Table 18과 같이 0.50이다.

Table 18 The evaluation result of Pohang coastal area by Choquet integral

퍼지평가치	퍼지측도치		평가점수
$h(x_6)-h(x_3)$	0.14	$g(x_6)$	0.08
$h(x_3)-h(x_5)$	0.34	$g(x_6, x_3)$	0.24
$h(x_5)-h(x_4)$	0.22	$g(x_6, x_3, x_5)$	0.60
$h(x_4)-h(x_2)$	0.12	$g(x_6, x_3, x_5, x_4)$	0.86
$h(x_2)-h(x_1)$	0.06	$g(x_6, x_3, x_5, x_4, x_2)$	0.90
$h(x_1)$	0.12	$g(x_6, x_3, x_5, x_4, x_2, x_1)$	1.00

동해근해해역의 통항 안전성 평가점수는 Table 19와 같이 0.29이다.

Table 19 The evaluation result of Donghae coastal area by Choquet integral

퍼지평가치	퍼지측도치		평가점수
$h(x_3)-h(x_2)$	0.58	$g(x_3)$	0.16
$h(x_2)-h(x_5)$	0.00	$g(x_3, x_2)$	0.20
$h(x_5)-h(x_1)$	0.11	$g(x_3, x_2, x_5)$	0.56
$h(x_1)-h(x_4)$	0.11	$g(x_3, x_2, x_5, x_1)$	0.66
$h(x_4)-h(x_6)$	0.06	$g(x_3, x_2, x_5, x_1, x_4)$	0.92
$h(x_6)$	0.01	$g(x_3, x_2, x_5, x_1, x_4, x_6)$	1.00

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

## 5. 결 론

우리나라 연안해역은 해상교통량의 급증과 선박의 대형화, 고속화에 따라 해양사고가 빈발하며 이로 인한 물적·인적 손실 및 해양환경오염 등 막대한 피해가 있다. 이러한 해양사고가 빈발한 해역에 대해 해역의 통항 안전성을 확보하기 위한 방안으로서 연안VTS의 설치 등을 검토하고 있다. 그러나 이러한 시설의 설치 이전에 그 해역에 대한 해역 안전성을 평가하여 우선순위를 결정할 필요가 있다.

한편 연안해역에서 항로주변의 교통 및 자연환경 등의 통항 환경이 복잡하게 변화함에 따라 조선자의 조선부담은 증대된다. 따라서 조선자의 주변 환경에 대해 느끼는 위험성 측면에서 안전성 평가를 할 필요가 있다.

본 연구는 연안해역에 대한 통항 안전성을 평가하기 위하여 해상교통의 흐름과 연안 VTS의 관제범위 등을 고려하여 8개



평가 대상해역으로 구분하였다.

브레인스토밍법에 의해 항로표지시설의 수, 평균 안개발생 일수, 해상교통량, 해양사고 발생건수, 위험물 취급량, 항로의 복잡성등 6개의 평가항목으로 추출하고 통계자료와 조선환경 스트레스치를 이용하여 평가치를 산출하였다. 그리고 대상해역의 통항 안전성 평가는 퍼지측도와 Choquet적분을 이용하여 종합평가를 행하였다.

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

따라서 통항 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.

### 참 고 문 헌

[1] 김종수 · 윤명오 · 장운재(2001), 퍼지적분 모델을 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), ファジイAHPにおける感度分析を用いた重要度の安全性の評価, 日本ファジイ學會誌, 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, 日本ファジイ學會誌, 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] 孫永璿 · 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關する一手法, 日本ファジイ學會誌, 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關する研究-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] 塚本弥八郎, 田代 勸(1979), Fuzzy 逆問題の解法, 計測自動制御學會論文集 15.  
 [9] Lipnickas, A(2001). Classifiers fusion with data dependent aggregation schemes, 7<sup>th</sup> International Conference on Information Networks, Systems and Technologies ICINASTe.  
 [10] Satty, T.L. and Kearns, K.P.(1985), *Analytical Planning*, Pergamon press.  
 [11] Satty. T.L.(1980), A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structure, *Journal of Mathematical psychology* Vol.15, No.3.  
 [12] Verikas, A. · Lipnickas, A. · Malmqvist, K. · Bacauskiene, M. · Gelzinis, A(1999), Soft combination of neural classifiers; A comparative study, *Pattern Recognition Letters* 20.

원고접수일 : 2003년 10월 14일

원고채택일 : 2004년 2월 10일