

퍼지로직을 이용한 연안해역의 통항 위험성 평가

김종수* · 장운재**

* 목포해양대학교 해상운송시스템학부 교수, ** 목포해양대학교 대학원

Evaluation of the Navigational Risk Level in Coastal Waterway using Fuzzy Logic

Jong-Soo Keum* · Woon-Jae Jang**

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

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

요약 : 해상에서 해양사고를 예방하고 선박의 통항안전성을 증대시키기 위해 연안 VTS와 항행보조시설이 적극 검토되고 있다. 그러나 이러한 시설의 설치에는 막대한 비용과 예산이 든다. 따라서 연안해역에 통항 위험성을 평가하여 우선순위를 결정해야하고 통항 위험성 평가는 조선자의 관점에서 평가되어야 한다. 한편, 인간의 사고에는 많은 형태의 애매함이 존재하기 때문에 이러한 애매함을 반영하기 위해 본 연구에서는 퍼지로직과 쇼케적분을 이용하여 연안해역의 선박 통항안전성을 평가하였다. 본 연구의 목적은 퍼지로직과 쇼케적분을 이용하여 조선 부담감을 고려할 수 있는 평가모형을 개발하고 우리나라 연안해역을 8개로 나누고 연안 VTS와 항행보조시설 설치의 우선순위를 결정하기 위한 평가를 실시하였다.

핵심어 : 퍼지로직, 환경스트레스, 쇼케적분, 연안VTS, 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 risk 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 logic 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 Logic, Environmental Stress, Choquet Integral, Coastal VTS, Operational Stress

1. 서론

최근 해양사고로 인한 막대한 인적·물적 손해를 줄이고 해양환경을 보호하기 위한 방안으로 항행보조시설의 확충 및 연안 VTS(Vessel Traffic Services)의 설치 등을 통해 해상교통류를 적극적으로 관리하고자 하는 대책이 수립되고 있다.

그러나 이러한 항행보조시설의 확충, 연안 VTS의 설치 등에는 막대한 비용이 소요되므로 설치 이전에 대상해역에 대한 선박통항 위험성을 평가하여 설치 우선순위를 결정할 필요가 있다.

해역의 안전성 및 위험성 평가와 관련된 기존 연구들은 평가대상을 계층구조의 형태로 분석하여 우선순위를 결정하는 평가방법인 계층분석법이 널리 이용되고 있다(김희 2, 2001a). 그러나 계층분석법은 해역안전성 평가와 같이 평가항목에 중

복이 있는 경우의 비가법적인 평가에 있어서는 한계가 있었다.

최근에는 이러한 계층분석법을 확장한 형태인 평가척도의 애매성을 고려한 평가방법으로 퍼지척도를 이용하여 대상해역에 대한 위험성의 종합평가점수를 산정하여 평가점수에 따라 위험성 제어방안의 우선순위를 결정하고 있다(김희 2, 2001b; 이와 이, 1989). 한편 다른 방법으로는 인간이 가지는 정보를 표현하는 애매성을 반영한 퍼지추론법을 이용하여 평가점수를 산정하여 우선순위를 결정하는 연구가 있다(장과 김, 2004).

전자에 관한 문제의 퍼지성을 Ambiguity(다의성)으로, 후자의 퍼지성을 Vagueness(막연성)이라고 정의 할 수 있다. 그러나 양자는 표현하는 방법에 따라 전혀 다른 접근방법을 사용하고 있다.

따라서, 해역의 통항 위험성 평가 문제와 같이 평가항목에 상호 중복이 있는 Ambiguity와 인간이 가진 애매한 정보인 Vagueness를 표현하고 의사결정을 하기 위한 평가에 있어서는 양자를 통합한 새로운 평가방법을 개발할 필요가 있다.

* 대표저자 : 종신회원, jskeum@mmu.ac.kr 061)240-7075

** 종신회원, jwj98@mmu.ac.kr 061)240-7071

이를 위해 본 연구에서는 우리나라 연안해역을 8개로 구분하고, 브레인스토밍법에 의해 추출된 기상조건, 항로조건, 교통조건, 위험물 통항량 등 4개의 평가항목과 해양사고 발생건수를 고려하여 퍼지추론법에 의해 평가치를 결정하고, 퍼지측도 및 Choquet적분법에 의해 종합적인 위험성을 평가하여 우선순위를 결정하였다.

2. 이론적 배경

2.1 퍼지로직(fuzzy logic)

퍼지로직은 입력자료를 퍼지화한 다음 퍼지추론을 통해 결과를 도출한 후 결과를 비퍼지화하여 크리스프(crisp)값으로 나타내게 된다(Zadeh, 1976).

퍼지로직은 IF-THEN 형식의 퍼지규칙과 퍼지추론으로 구성된다. 퍼지추론법은 Mamdani의 max-min 법이 일반적이므로 본 연구에서도 이용한다. max-min 법을 이용하여 입력변수 2개와 출력변수 1인 시스템을 구성하면 식(1)과 같이 나타낼 수 있다(장과 금, 2004 ; Mamdani, 1975).

Input : x is A' AND y is B'
 R¹ : IF x is A₁ AND y is B₁, THEN z is C₁
 OR R² : IF x is A₂ AND y is B₂, THEN z is C₂

 OR Rⁿ : IF x is A_n AND y is B_n, THEN z is C_n

Conclusion : z is C

$$R_C : \mu_C(z) = \bigvee_{i=1}^n [\mu_{A_i}(x_0) \wedge \mu_{B_i}(y_0)] \wedge \mu_{C_i}(z) \quad (1)$$

여기서 A', B' : 위험성에 대한 퍼지집합

A_i, B_i, C_i : 퍼지규칙의 변수 x, y, z에 대한 퍼지집합

C : 위험수준에 대한 퍼지집합

R_C : Mamdani의 min 연산규칙

$\mu_{C_i}, \mu_{A_i}, \mu_{B_i}$: 퍼지집합 C_i, A_i, B_i에 대한 소속함수값

x_0, y_0 : 위험성, 발생척수의 실제 입력값

\bigvee, \bigwedge : 논리합(max 연산), 논리곱(min 연산)

$\bigvee_{i=1}^n$: 논리합의 합성,

Rⁱ : 퍼지규칙(fuzzy rule)의 번호

위와 같은 방법을 통하여 얻어진 결과값은 퍼지 값이므로 비퍼지화 과정을 거쳐게 된다. 비퍼지화는 여러 가지가 있으나 식(2)와 같은 무게중심법이 가장 일반적으로 사용된다.

$$z = \frac{\sum_{j=1}^n \mu_C(z_j) z_j}{\sum_{j=1}^n \mu_C(z_j)} \quad (2)$$

여기서 n : 전체 출력의 분할정도(quantization level)

z_j : 분할정도 j에 따른 출력

$\mu_C(z_j)$: 위험성 퍼지집합 C에 대한 z_j 의 소속함수값

2.2 퍼지측도와 Choquet적분

퍼지측도(fuzzy measure)는 애매한 대상을 주관적으로 계량할 때의 척도로 수계노(Sugeno)가 제안한 λ -퍼지측도(g_λ)가 주관적 측도의 모델로서 많이 이용되고 있다.

수계노가 제안한 λ -퍼지측도(g_λ)는 식(3)과 같이 퍼지측도에 매개변수(λ)를 도입한 형태이다. 단, 여기서 λ -퍼지측도 g_λ 는 단조성을 갖는다.

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

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

식(3)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.

λ -퍼지측도(g_λ)는 식(3)을 이용하여 서로 소(素)인 부분집합열 $\{A_1, A_2, A_3, \dots, A_n\}$ 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, $A_i \cap A_j = \emptyset, i \neq j$

또한 본 연구에서의 평가요소 i 및 j 간의 상호작용계수(λ_{ij})는 전문가의 설문에 의해 식(5)를 이용하여 산출할 수 있다.

$$\mu_i = \sum_{j=1}^n \lambda_{ij} / (n-1) \quad (i \neq j) \quad (5)$$

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

한편, 평가문제에 있어서 Tuskamoto가 제안한 λ -퍼지측도가 널리 사용되고 있으며, 본 연구에서도 이 측도를 사용한다. Tuskamoto가 제안한 λ -퍼지측도($f_\lambda(u)$)는 식(6)와 같다.

$$f_\lambda(u) = \begin{cases} ((1+\lambda)^u - 1) / \lambda & \text{if } \lambda \neq 0 \\ u & \text{if } \lambda = 0 \end{cases} \quad (6)$$

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

따라서 상호작용계수(λ)를 도입함으로써 계층평가의 일관성을 유지하면서, 상호작용 효과를 중요도에 반영할 수 있으므로 동일 계층의 평가항목 사이에 반드시 독립성이 보장되지 않더라도 취급할 수 있게 된다.

한편, 평가대상을 퍼지측도를 이용한 경우에는 비가법성이 존재하므로 종합적으로 평가하기 위해 Choquet적분을 통해서 종합점수를 산출해야 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(7)과 같이 정의된다(孫永璿·鬼澤武久, 1997).

$$(c) \int hdg = \int_0^\infty g(H_a) da \quad (7)$$

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(8)로 결정된다.

$$(c) \int hdg = \sum_{i=1}^n (a_i - a_{i-1})g(H_i) \quad (8)$$

3. 위험성 평가 모델

3.1 위험성 퍼지규칙 베이스

퍼지규칙에서 조건부와 결론부의 언어적 변수는 퍼지집합에 대응된다. 입력 퍼지 변수가 결정되고, 그 변수의 개수에 따라 설계할 수 있는 제어규칙의 최대 개수가 결정되면, 입력공간이 정의된다. 이 중 시스템의 특성을 고려하여 입력변수의 영역(range)을 나누어 그에 따라 제어규칙을 결정하게 된다. 본 연구에서는 안개발생일수, 항로의 복잡성, 통항 교통량, 위험물 취급량 등 4개의 평가항목 각각에 대한 5개의 퍼지 변수와 해양사고 발생건수의 퍼지변수 5개로 구성하여 위험수준에 대한 전체 규칙의 수는 100개가 된다.

안개발생에 관한 멤버십 함수는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 지난 10년간(1995년 ~ 2004년) 연평균 안개발생일수에 대한 자료를 기초로 해양수산관련 전문가의 설문 및 면접조사를 이용하였다.

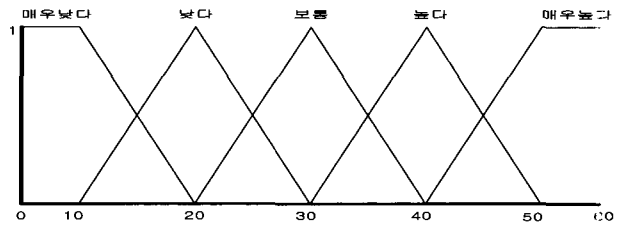


Fig. 1. Foggy days related risk.

항로의 복잡성(Complexity in waterway; CW)에 관한 멤버십 함수는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 연안 유조선의 평균전장, 평균속력, 통항 항로폭, 항로의 만곡도 등을 이용하여 산출한 조선환경 스트레스치를 기초로 해양수산관련 전문가의 설문 및 면접조사를 이용하였다.

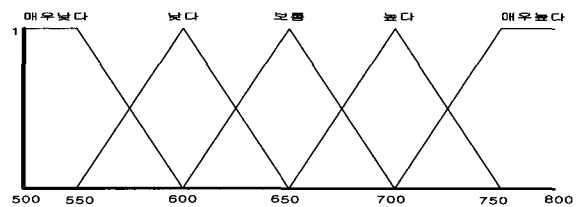


Fig. 2. Complexity in waterway related risk.

해상교통량에 관한 멤버십 함수는 Fig. 3에서 보는 바와 같이 2004년 해상교통량의 기조점 분석결과를 기초로 해양수산관련 전문가의 설문 및 면접조사를 이용하였다.

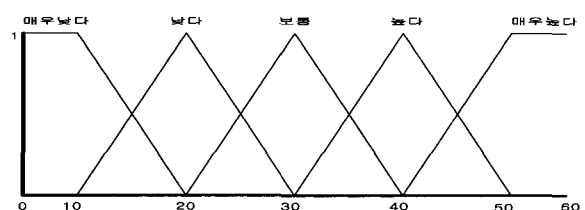


Fig. 3. Traffic volume related risk.

위험물 통항량에 관한 멤버십 함수는 Fig. 4에서 보는 바와 같이 최근 5년간(2000년 ~ 2004년) 대상해역의 연평균 위험물 취급량에 대한 자료를 기초로 해양수산관련 전문가의 설문 및 면접조사를 이용하였다.

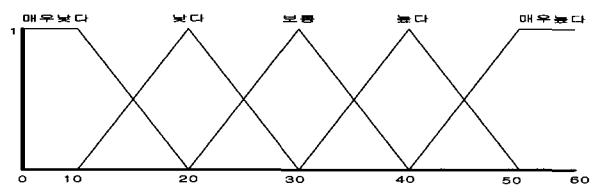


Fig. 4. Dangerous cargo volume related risk.

해양사고 발생건수(Marine accident; MA)에 관한 멤버십 함수는 Fig. 5에서 보는 바와 같이 지난 10년간(1995~2004년) 해양사고 발생건수 자료를 기초로 해양수산관련 전문가의 설문 및 면접조사를 이용하였다.

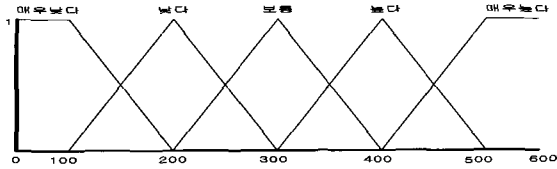


Fig. 5. Frequency for marine accident.

또한, 결론부의 연안해역의 통항 위험성은 전문가의 설문 및 면접조사를 이용하여 Table 1, Fig. 6에서 보는 바와 같이 위험성과 해양사고 발생척수를 고려하여 “매우 낮다”에서 “매우 높다”까지 5개의 언어변수로 구성하였다.

Table 1. Risk Level expression

평가요소 \ 발생척수	매우 높다	높다	중간	낮다	매우 낮다
매우 높다	VH	VH	VH	VH	H
높다	VH	VH	VH	H	N
중간	VH	VH	H	N	L
낮다	VH	H	N	L	VL
매우 낮다	H	N	L	VL	VL

주) Very High(매우높다) : VH, High(높다) : H, Normal(보통) : N, Low(낮다) : L, Very Low(매우낮다) : VL

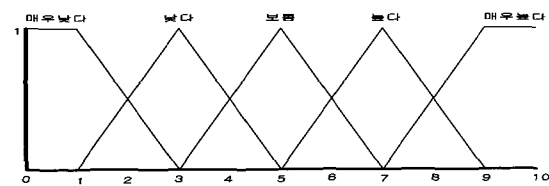


Fig. 6. Fuzzy Risk Level expression.

각 항목별 25개의 퍼지추론 규칙 중 구체적인 예를 들면 항로의 복잡성 평가항목의 위험성(environmental stress related risk level; ER)산출은 다음과 같다.

- Rule 1: If CW is VL and MA is VL, Then ER is VL
- Rule 2: If CW is L and MA is VL, Then ER is VL
- Rule 3: If CW is N and MA is VL, Then ER is L

3.2 평가항목의 선정 및 대상해역의 범위

연안해역의 통항 위험성을 평가하기 위해 본 연구에서는 선장, 해양 수산분야 대학원생 및 연구원 등 전문가 20여명을

대상으로 브레인스토밍법을 이용하여 평균 안개발생일수(x_1), 항로의 복잡성(x_2), 해상교통량(x_3), 위험물 취급량(x_4)등 4개의 평가항목을 추출하였다.

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. 7과 같다.

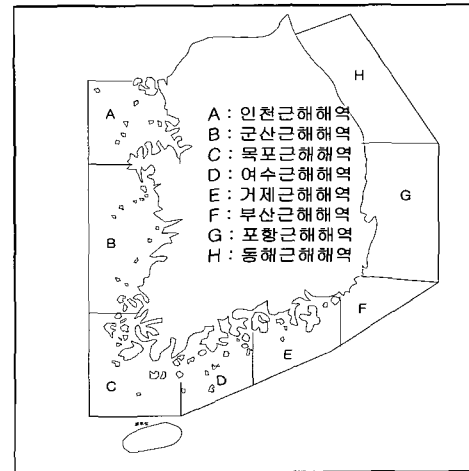


Fig. 7. Candidated areas of evaluation.

3.3 퍼지로직을 이용한 위험성 평가

퍼지로직을 이용하여 안개발생에 의한 위험성을 평가하면 Table 2와 같이 목포근해해역이 9.232로 가장 높은 것으로 나타났다.

Table 2. Risk level for foggy days in 8 sectors

대상해역	안개발생일수 (일수)	해양사고 발생건수	위험성
A	48.6	178	8.192
B	45.2	185	7.637
C	23.4	584	9.232
D	22.2	370	6.845
E	15.1	215	2.422
F	17.4	224	2.992
G	8.6	297	2.960
H	13.4	168	1.673

또한, 대상해역의 항로의 복잡성에 의한 위험성을 평가하면 Table 3과 같이 목포근해해역이 9.232로 가장 높은 것으로 나타났다.

Table 3. Risk level for environmental stress

대상해역	항로폭 (마일)	항로의 만곡도(°도)	ES치	해양사고 발생건수	위험성
A	2	40	620	178	3.342
B	2	30	606	185	2.964
C	1.5	40	685	584	9.232
D	1.5	10	646	370	8.203
E	1.5	20	654	215	5.450
F	2	10	590	224	3.082
G	2	10	590	297	4.595
H	2	20	596	168	2.455

* 평균전장: 115m, 평균속력: 15Kts

한편, 해상교통량에 의한 위험성을 평가하면 Table 4와 같이 목포근해해역이 9.232로 가장 높은 것으로 나타났다.

Table 4. Risk level for Traffic volume

대상해역	해상교통량 (척수)	해양사고 발생건수	위험성
A	97,543	178	8.636
B	78,125	185	8.822
C	251,130	584	9.232
D	118,290	370	9.195
E	143,576	215	9.185
F	134,592	224	9.168
G	77,183	297	9.215
H	17,182	168	5.197

위험물 취급량에 의한 위험성을 평가하면 Table 5와 같이 포항근해해역이 9.232로 가장 높은 것으로 나타났다.

Table 5. Risk level for weight of dangerous cargo volumes

대상해역	위험화물량 (천톤)	해양사고 발생건수	위험성
A	196,423	178	8.414
B	5,421	185	0.768
C	2,125	584	7.000
D	134,532	370	8.421
E	10,439	215	1.212
F	23,428	224	2.310
G	213,842	297	9.232
H	1,936	168	0.768

4. 해역별 통항 위험성 종합평가

4.1 퍼지로직과 Choquet적분에 의한 평가 알고리즘

퍼지로직과 Choquet적분에 의한 평가법은 아래 7단계에 의해 수행된다.

단계 1: 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 퍼지측도치($g(\cdot)$)를 구한다.

단계 3: 위험성 평가요소를 입력 및 퍼지화 한다.

단계 4: 전문가의 지식기반과 자료 수집 분석에 의한 퍼지규칙 기반 수립 및 퍼지추론법을 수행한다.

단계 5: 비퍼지화 및 위험성 결과를 출력한다.

단계 6: 위험성 값을 [0,1]사이로 표준화하여 평가항목별 퍼지 평가치 $h(\cdot)$ 를 구한다.

단계 7: 위험성 평가의 최하위 계층인 평가속성을 통합 평가한 Choquet적분을 수행하여 종합평가 결과를 산출한다.

이상의 결과를 흐름도로 나타내면 Fig. 8과 같다.

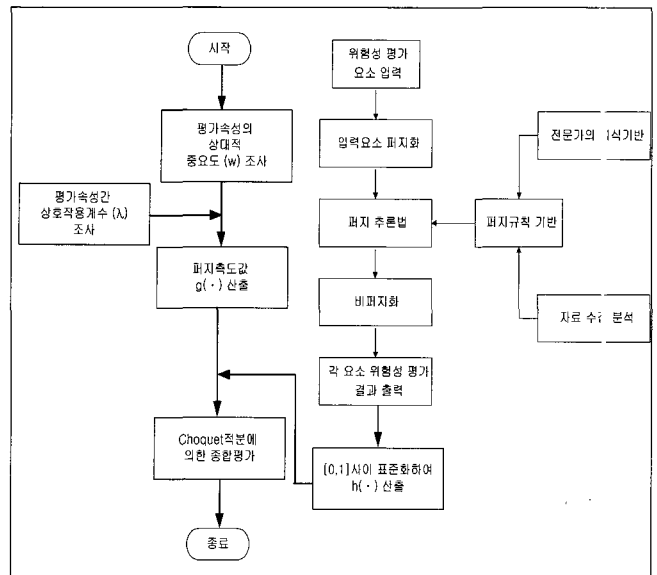


Fig. 8. Flow chart of Fuzzy logic and Choquet integral.

4.2 퍼지측도치 $g(\cdot)$ 산출

연안해역의 통항 위험성을 평가하기 위하여 앞서 추출한 4개의 평가항목에 대해 계층분석법을 이용하여 상대적 중요도를 조사하였다.

Table 6은 각 평가요소별 설문 응답자의 수에 따라 기하평균한 일대비교 자료 및 계층분석법에 의해 구한 평가항목의 중요도 $w(\cdot)$ 를 나타낸다. 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 6. Pairwise comparison matrix and weight of evaluation factors by AHP

항목	x_1	x_2	x_3	x_4	w
x_1	1	1/3	1/5	3	0.122
x_2	3	1	1/3	1/5	0.263
x_3	5	3	1	7	0.558
x_4	1/3	1/5	1/7	1	0.057

$\lambda_{max}=4.118, C.I.=0.039, C.R.=0.044$

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

일대비교에 의한 상호작용계수 λ 는 질문에 의한 자료를 바탕으로 두 평가항목 간의 상호작용을 묻고 각각 상승 또는 상쇄 작용을 질문하여 (-1, 1)의 공간에 위치하도록 하였다. 상호작용 정도에 대한 값은 약간 적다는 ± 0.1 , 보통 ± 0.2 , 약간 많다 ± 0.3 , 크다 ± 0.4 로 평가하여 동일 항목에 대한 각 개인의 값을 평균한 결과 Table 7과 같이 λ 값은 - 0.31이 된다.

Table 7. Interaction value of evaluation factors

항목	x_1	x_2	x_3	x_4
x_1	0	-0.38	-0.13	-0.33
x_2		0	-0.36	-0.29
x_3			0	-0.34
x_4				0

$\lambda = - 0.31$

따라서 계층분석법에서 구한 중요도의 w 값과 상호작용 계수 λ 를 구하였으므로 식(10)에 의해 $g(x_1)$ 부터 $g(x_4)$ 까지의 평가항목에 대한 퍼지측도치 $g(\cdot)$ 는 Table 8과 같다.

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

$g(\cdot)$	퍼지측도치	표준화
$g(x_1)$	0.143	0.128
$g(x_2)$	0.299	0.269
$g(x_3)$	0.603	0.542
$g(x_4)$	0.068	0.061
합계	1.113	1.000

4.3 퍼지평가치 $h(\cdot)$ 산출

각 해역별 평가치는 4개의 평가항목의 위험성을 [0,1]사이로

하여 Table 9와 같이 위험성이 가장 높은 값을 1.00으로 하여 상대적인 값을 산출하였다.

평균 안개발생일수, 항로의 복잡성, 해상교통량에 의한 위험성은 목포근해해역이 가장 높은 것으로 나타났고, 위험물 통항량에 의한 위험성은 포항근해해역이 가장 높은 것으로 평가되었다.

Table 9. Overall evaluation value $h(\cdot)$

항목	$h(x_1)$	$h(x_2)$	$h(x_3)$	$h(x_4)$
A	0.887	0.362	0.935	0.911
B	0.827	0.321	0.956	0.083
C	1.000	1.000	1.000	0.758
D	0.741	0.889	0.996	0.912
E	0.262	0.590	0.995	0.131
F	0.324	0.334	0.993	0.250
G	0.321	0.498	0.998	1.000
H	0.181	0.266	0.563	0.083

4.4 대상해역의 통항 위험성 종합평가

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

그 결과 인천근해해역의 통항 위험성 평가점수는 Table 10과 같이 0.773으로 산출되었다.

Table 10. Evaluation result of Incheon coastal area by Choquet integral

퍼지평가치	퍼지측도치	평가점수
$h(x_3) - h(x_4)$	0.024	$g(x_3)$ 0.542
$h(x_4) - h(x_1)$	0.024	$g(x_3, x_4)$ 0.603
$h(x_1) - h(x_2)$	0.525	$g(x_3, x_4, x_1)$ 0.731
$h(x_2)$	0.362	$g(x_3, x_4, x_1, x_2)$ 1.000

0.773

따라서 각 해역별 종합평가점수를 구하면 Table 11과 같이 나타낼 수 있다.

이상의 Choquet 적분에 의해 각 해역별 통항 위험성의 종합 평가점수를 산출한 결과 8개 평가 대상해역 중 목포근해해역이 가장 높은 것으로 산출되었으며, 그 다음으로 여수근해해역, 포항근해해역, 인천근해해역, 거제근해해역, 부산근해해역, 군산근해해역, 동해근해해역의 순으로 나타났다.

Table 11. Evaluation result of each coastal area

해역	종합평가점수	순위
인천근해해역	0.773	4
군산근해해역	0.632	7
목포근해해역	0.985	1
여수근해해역	0.929	2
거제근해해역	0.740	5
부산근해해역	0.685	6
포항근해해역	0.777	3
동해근해해역	0.405	8

5. 결 론

최근 연안해역의 통항 안전성을 확보하기 위한 방안으로서 항로표지시설의 확충과 연안 VTS의 설치 등이 적극 검토하고 있다. 그러나 이러한 시설은 막대한 예산이 소요되므로 설치 이전에 그 해역에 대한 위험성을 평가하여 우선순위를 결정할 필요가 있다.

한편 연안해역의 통항 위험성 평가에는 평가항목에 상호 중복이 있는 Ambiguity와 인간이 가진 애매한 정보를 표현하는 Vagueness등의 많은 애매성이 존재한다. 따라서 본 연구에서는 이러한 애매성을 반영한 새로운 평가방법인 퍼지로직을 제안하였으며, 본 연구에서 제안된 모델을 이용하여 우리나라 연안해역에 대해 통항 위험성을 평가하였다.

통항 위험성 평가를 위해 본 연구에서는 먼저 평가대상해역을 해상교통의 흐름과 연안 VTS의 관제범위 등을 고려하여 우리나라 연안해역을 8개의 해역으로 구분하였다. 그리고 브레인스토밍법에 의해 추출된 4개의 평가항목인 평균 안개발생일수, 해상교통량, 위험물 취급량, 항로의 복잡성과 해양사고 발생건수를 고려하여 퍼지로직을 이용하여 평가항목에 대한 위험수준을 산출하였고, 각 해역별 종합평가점수는 퍼지측도와 Choquet적분을 이용하여 산출하였다.

그 결과 우리나라 연안해역은 목포근해해역의 위험성이 가장 높은 것으로 나타났고, 여수근해해역, 포항근해해역, 인천근해해역, 거제근해해역, 부산근해해역, 군산근해해역, 동해근

해해역의 순으로 위험성이 높은 것으로 나타났다.

참고문헌

- [1] 금중수·윤명오·장운재(2001a), 연안해역의 항행안전성 평가에 관한 연구, 해양환경안전학회지, 제7권 2호
- [2] 금중수·윤명오·장운재(2001b), 퍼지적분 모델을 이용한 연안해역의 항행안전성 평가에 관한 연구, 한국항해학회지, 제25권 4호.
- [3] 이상화·이철영(1989), 우리나라 연안의 해상교통관리 시스템 설치를 위한 기초연구, 한국항해학회지, 제12권, 2호.
- [4] 장운재·금중수(2004), 해양사고 피해규모에 의한 위험수준 평가, 한국항해항만학회지, 제28권 10호.
- [5] 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.
- [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関する一手法, 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] Feagas.T.B, Biller.W.F.(1980), Fuzzy Concepts in the analysis of Public Health Risk, Plenum press, New York.
- [9] Mamdani E.H, Assilian S.(1975), An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *Int.J Man-Machine Studies*. Vol 7.1
- [10] T.L. Satty & K.P. Kearns(1985), *Analytical Planning*, Pergamon press.
- [11] A.Verikas·A.Lipnickas·K.Malmqvist·M.Bacauskiene·A.Gelzinis(1999), Soft combination of neural classifiers: A comparative study, *Pattern Recognition Letters* 20.
- [12] A.Lipnickas, Classifiers fusion with data dependent aggregation schemes, *7th International Conference on Information Networks, Systems and Technologies ICINASTE, 2001.*

원고접수일 : 2005년 11월 30일

원고채택일 : 2005년 12월 28일