

퍼지적분에 의한 연안해역의 안전성 평가

김 종 수*, 윤 명 오*, 장 운 재*

1. 서 론

우리 나라는 지리적으로 3면이 바다에 접해 있고 일본, 중국 등 주변국들에 둘러싸여 있어 우리 나라 연안해역은 대단히 중요한 해상교통로를 형성하고 있으며, 외항선, 연안선, 여객선, 어선 등의 통항으로 인하여 매우 복잡한 실정이다. 또한 우리 나라 연안해역은 해상교통량의 폭주, 거대형선, 위험물운반선, 고속여객선 등의 통항으로 인하여 연안해역의 선박운항 환경이 변화하여 대형해양사고의 발생가능성이 높은 해역이다.1)

1991년부터 2000년까지 지난 10년간 우리 나라에서 발생한 해양사고는 연평균 673건이 발생하고 있다. 이러한 해양사고로 인하여 매년 약 253명의 인명손실과 선박 및 화물의 손상, 해양오염방제 비용 등으로 인한 직접적인 피해액만도 연간 2,000여억원에 이르는 것으로 추정되고 있다.

따라서 해양사고가 빈발하고 있는 연안해역에 대한 선박통항 안전성을 확보하기 위한 방안으로 항행보조시설의 확충, 연안 VIS(Vessel Traffic Service)의 설치 등을 통하여 해상교통류를 적극적으로 관리할 필요가 있다. 그러나 항행보조시설의 확충, 연안 VIS의 설치 등에는 막대한 비용이 소요되므로 설치 이전에 대상해역에 대한 안전성 평가를 통하여 우선 순위를 결정할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 우리 나라의 전 연안해역을 8개의 해역으로 구분한 후, 선행연구3)에서 추출된 안개발생일수, 항로의 복잡성, 해상교통량, 해양사고 발생건수, 위험물 통항량 등 5가지를 평가항목으로 선정하여 퍼지측도 및 퍼지적분을 이용하여 연안해역의 항행 안전성을 평가하는데 그 목적이 있다.

2. 퍼지측도 및 퍼지적분

2.1 퍼지측도

퍼지측도(fuzzy measure)는 애매한 대상을 주관적으로 계량할 때의 척도이며, 전체집합 X의

* 목포해양대학교

임의의 부분집합 A, B에을 구간 [0, 1]의 실수치에 대응시키는 집합함수 g가 다음 조건을 만족하면 g를 퍼지측도라고 정의한다.

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

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

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

조건 3의 경우 연안해역의 안전성 평가문제와 같이 X가 유한집합인 경우에는 명백히 성립하므로 불필요하게 된다.

퍼지측도로서는 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 퍼지적분을 하기 위해서는 n개의 평가항목에 대하여 2^{n-1} 개의 관측자료로부터 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.

$$g_\lambda(A \cup B) = g_\lambda(A) + g_\lambda(B) + \lambda g_\lambda(A) g_\lambda(B) \dots\dots\dots(2.1)$$

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

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 $\{A_1, A_2, A_3, \dots, A_n\}$ 대하여 식 (2.2)와 같은 일반식을 유도할 수 있다.

$$g_\lambda \left(\bigcup_{i=1}^n A_i \right) = \frac{1}{\lambda} \left(\prod_{i=1}^n (1 + \lambda g_\lambda(A_i)) - 1 \right) \dots\dots\dots(2.2)$$

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

본 연구에서는 연안해역의 항행 안전성 평가요소 i 및 j간의 상호작용계수(λ_{ij})를 언어적인 표현방법을 사용하여 요소간에 상호작용이 있느냐 없느냐를 먼저 질문하고, 다음으로 상승작용이나 상쇄작용 중 어느 하나에 대하여 0 및 (-1, 0)과 (0, 1)로 응답을 구하였다. 평가요소간의

상호작용계수를 구하는 방법은 식(2.3)과 같다.

$$\mu_i = \sum_{j=1}^n \lambda_{ij} / (n-1) \quad (i \neq j) \dots\dots\dots(2.3)$$

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

한편, 평가문제에 있어서 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.

$$f_\lambda(u) = \begin{cases} ((1+\lambda)^u - 1) / \lambda & \text{if } \lambda \neq 0 \\ u & \text{if } \lambda = 0 \end{cases} \dots\dots\dots(2.4)$$

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

2.2 퍼지적분

퍼지측도에 의한 퍼지적분은 전체집합 X 의 부분집합 A 상에 정의된 함수 $h : A \rightarrow [0, 1]$ 대하여 퍼지측도 공간 $(X, 2^X)$ 에서 A 의 퍼지적분은 다음과 같이 정의된다.

$$\int_A h(x) \circ g(\cdot) = \sup_{F \in 2^X} [\inf_{x \in F} h(x) \wedge g(A \cap F)] \dots\dots\dots(2.5)$$

단, g 는 퍼지측도 공간 $(X, 2^X)$ 의 퍼지측도

여기서 기호 \int 는 퍼지적분 기호이며, \circ 는 퍼지집합 이론에서 사용되는 Max·Min 연산기호이다. 그리고 \sup 와 \inf 는 상한(Supremum)과 하한(Infimum)을 뜻한다. 상한은 X 의 어느 요소보다 큰 것 가운데 최소의 것을, 하한은 X 의 어느 요소보다 작은 것 가운데 최대의 것을 의미한다.

식(2.5)의 퍼지적분 정의로부터 다음의 성질을 얻는다.

$$\int_A h(x) \circ g(\cdot) = \sup_{a \in [0,1]} [a \wedge g(A \cap F_a)] \dots\dots\dots(2.6)$$

단, $F_a = \{x \mid h(x) \geq a\}$

A는 적분영역으로서 $A=X$ 일 때에는 생략한다. F_a 에서는 a 가 클수록 집합이 작아지며, 또한, 퍼지측도 g 는 단조성을 갖기 때문에 $g(A \cap F_a)$ 의 측도치는 a 가 클수록 감소한다. 또한, 퍼지적분은 다음과 같은 성질을 갖는다.

$$0 \leq h(x) \circ g(\cdot) \leq 1 \dots\dots\dots(2.7)$$

$$h_1 \leq h_2 \text{ 이면 } \int h_1(x) \circ g(\cdot) \leq \int h_2(x) \circ g(\cdot) \dots\dots\dots(2.8)$$

$$A \subset B \text{ 이면 } \int_A h(x) \circ g(\cdot) \leq \int_B h(x) \circ g(\cdot) \dots\dots\dots(2.9)$$

식(2.7)은 퍼지적분 값의 범위를 나타내며, 식(2.8)은 중요도가 같을 경우에는 능력의 크기에 의해 값의 크기가 정해지는 퍼지적분치의 순서성을 보이며, 식(2.9)는 전체 집합의 평가치는 부분집합의 평가치를 포함한다는 것을 나타내고 있다. 퍼지적분의 기본적인 성질은 퍼지측도의 성질을 반영한 단조성에 있다. 집합 X가 유한집합인 경우, 함수 h 를

$h(x_1) \geq h(x_2) \geq h(x_3) \dots \geq h(x_n)$ 와 같이 크기 순으로 나열하면 퍼지적분은 아래 식(2.10)과 같이 표현된다.

$$\int_A h(x) \circ g(\cdot) = \bigvee_{i=1, n} [h(x_i) \wedge g(F_i)] \dots\dots\dots(2.10)$$

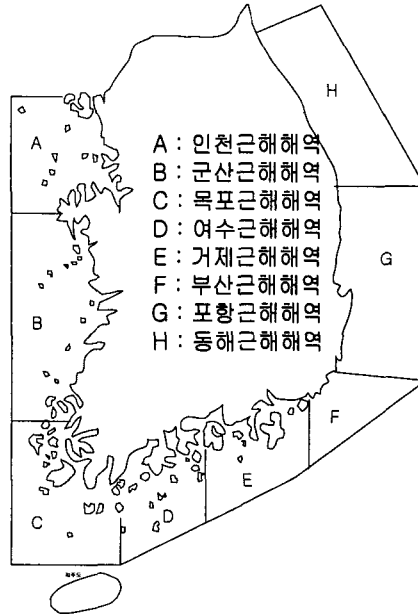
단, $F_i = \{ x_1, x_2, x_3, \dots, x_i \}$

3. 해역별 특성 분석

3.1 대상해역의 범위

대상해역의 범위의 설정은 연안 VTS의 관리수역의 범위를 고려하여 연안에서 30마일 이내의 해역으로 한정하고, 외항선항로, 연안선항로, 여객선항로, 어선의 움직임과 각 해역의 주요 항

만 등을 고려하여 우리 나라의 전 연안해역을 8개 해역으로 구분하였다. 대상해역의 구체적인 범위는 <Fig. 3-1>과 같다.



<Fig. 3-1> Candidated area of evaluation

- 1) 인천근해해역(A): 북위 33도 40분 동경 127도, 북위 37도 40분 동경 125도 30분, 북위 37도 40분 동경 126도 10분, 북위 36도 50분 동경 125도 30분, 북위 36도 50분 동경 126도 10분 지점을 연결한 해역
- 2) 군산근해해역(B): 북위 36도 50분 동경 126도 10분, 북위 33도 40분 동경 128도, 북위 35도 20분 동경 125도 40분, 북위 35도 20분 동경 126도 20분 지점을 연결한 해역
- 3) 목포근해해역(C): 북위 35도 20분 동경 125도 40분, 북위 35도 20분 동경 126도 20분, 북위 35도 50분 동경 125도 30분, 북위 33도 50분 동경 127도, 북위 34도 40분 동경 127도 지점을 연결한 해역
- 4) 여수근해해역(D): 북위 33도 50분 동경 127도, 북위 34도 40분 동경 127도, 북위 34도 20분 동경 128도, 북위 35도 동경 128도 지점을 연결한 해역
- 5) 거제근해해역(E): 북위 34도 20분 동경 128도, 북위 35도 동경 128도, 북위 34도 30분 동경 129도, 북위 35도 10분 동경 129도 지점을 연결한 해역
- 6) 부산근해해역(F): 북위 34도 30분 동경 129도, 북위 35도 10분 동경 129도, 북위 35도 10분 동경 129도 40분, 북위 35도 10분 동경 129도 10분 지점을 연결한 해역
- 7) 포항근해해역(G): 북위 35도 10분 동경 129도 40분, 북위 35도 10분 동경 129도 10분, 북위

- 36도 40분 동경 129도 40분, 북위 36도 40분 동경 129도 20분 지점을 연결한 해역
- 8) 동해근해해역(H): 북위 36도 40분 동경 129도 40분, 북위 36도 40분 동경 129도 20분, 북위 38도 20분 동경 128도 40분, 북위 38도 20분 동경 129도 10분 지점을 연결한 해역

3.2 해역별 특성 분석

연안해역의 항행 안전성을 평가하기 위하여 선정된 평가항목에 대한 각 해역별 특성을 살펴보고자 한다.

1) 평균 안개발생일수

지난 20년간(1980년~1999년) 우리 나라 해역별 연평균 안개발생일수 및 지속시간은 <Table 3-1>과 같다.

연평균 안개발생일수는 인천근해해역이 51.0일로 가장 높게 나타났으며 지속시간도 303.2시간으로 인천근해해역이 가장 높다. 지역별로는 동해안 및 남해안에서 안개가 비교적 적은 편이며 서남해안에서 안개가 자주 발생한다. 안개 발생일수에 대한 지속시간의 비가 큰 지속성이 강한 안개는 인천, 군산, 여수, 동해근해해역에서 많이 발생하고 있다.

<Table 3-1> Frequency of foggy days in candidated area(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

2) 항로의 복잡성

항로의 복잡성은 객관적으로 측정하기가 매우 어려운 평가항목으로 대상해역의 지형, 항로상의 복잡성 및 섬들의 분포상황 등에 따라 선박운항자의 경험적 판단으로부터 자료를 추출할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 연안유조선 선장 60명을 대상으로 대상해역의 복잡성의 정도를 5점 척도로 조사하여 매우 복잡하다고 응답한 경우는 5.0, 복잡하다는 4.0, 보통은 3.0, 별로 복잡하지 않다는 2.0, 전혀 복잡하지 않다는 1.0으로 평가하여 그 평균값을 사용하였다.

각 대상해역에 대한 항로의 복잡성에 대한 평가결과 <Table 3-2>와 같이 부산, 목포, 인천,

여수근해해역이 높게 나타났다.

<Table 3-2> Degree of complexity in waterway

대상해역	A	B	C	D	E	F	G	H
항로의 복잡성	3.98	3.65	4.22	3.75	3.80	4.34	3.66	2.85

3) 해상교통량

해상교통량을 구성하는 기본 요소는 외항화물선, 연안화물선, 연안여객선, 어선 등을 들 수 있다.

전체 8개 해역별로 구한 해상교통량은 <Table 3-3>과 같으며 목포근해해역이 205,752척으로 가장 많고 동해근해해역의 교통량이 14,770척으로 가장 적은 것으로 나타났다.

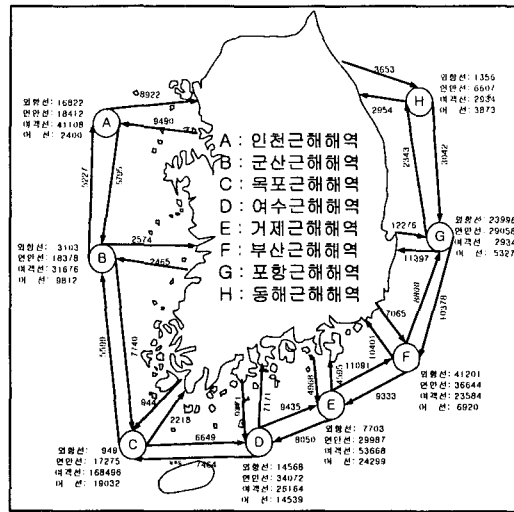
<Table 3-3> Traffic volume in candidate area

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

한편, <Fig. 3-2>은 각 해역별로 해상교통량의 기종점 분석 결과를 그림으로 나타내었다.

4) 해양사고 발생건수

각 해역별로 지난 10년간(1991년~2000년) 전체 해양사고 발생건수는 <Table 3-4>에서와 같이 2,263건이 발생하였다. 전체 해양사고건수 중 교통관련사고는 총 862건으로 전체의 약 38%를 차지하고 있다. 특히, 목포근해해역에서 교통관련사고가 207건으로 가장 많이 발생하였으며, 기술관련사고 또한 375건으로 가장 많이 발생하고 있음을 알 수 있다.



<Fig. 3-2> Dynamic traffic volume in candidate area

<Table 3-4> 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

5) 위험물 통항량

선박의 적재화물의 종류에 따라 해양사고가 발생하였을 때 그 피해의 크기는 각각 다르게 나타난다.

일반적으로 대상해역의 해상교통량 조사 또는 동적 교통량을 추정하는 경우에 위험물운반선이 공선으로 항행하는 경우에 대해서는 고려되지 않는다.

따라서 그 해역을 통항하는 위험물운반선의 척수를 고려하지 않고 대상해역이 포함된 주요 항만에서 처리된 유류, 석유정제품, 케미칼 제품, LPG, LNG 화물량을 평가에 사용하며, 각 해역별 위험물 취급량은 <Table 3-5>와 같다.

위험물 취급량이 가장 많은 해역으로는 포항근해해역이 186,305천톤 및 인천근해해역이 164,944천톤으로 다른 해역 비해 높게 나타났으며, 위험물 취급량이 가장 낮은 해역은 동해근해해역으로 1,267천톤으로 나타나고 있다.

<Table 3-5> Weight of dangerous cargo volume

대상해역	A	B	C	D	E	F	G	H
위험화물량	164,944	4,344	1,554	117,435	8,853	19,164	186,305	1,267

4. 해역별 안전성 종합평가

4.1 평가항목의 선정

연안해역의 항행 안전성을 평가하기 위하여 먼저 평가항목을 선정할 필요가 있다.

본 연구에서는 선행연구를 통하여 연안해역의 안전성에 영향을 미치는 25개의 요소에 대하여 설문조사 실시한 후 ISM법을 이용하여 평가요소에 대한 평가계층구조 모델을 작성하였으며, 평가구조 모델은 많은 요소들 중에서 평가에 필요한 요소를 추출하는 것이 된다.

선행연구 결과로부터 추출된 다음 5개의 평가항목을 이용하여 대상해역에 대한 항행 안전성을 평가하고자 한다.

1. 평균 안개발생일수(x_1)
2. 항로의 복잡성(x_2)
3. 해상교통량(x_3)
4. 해양사고 발생건수(x_4)
5. 위험물 통항량(x_5)

4.2 퍼지측도 및 퍼지적분 알고리즘

연안해역의 항행 안전성을 평가하기 위한 퍼지측도 및 퍼지적분에 의한 평가는 아래 4단계에 의해 수행된다.

단계 1: 설문자료를 토대로 의사결정자는 AHP에서 이용하는 일대비교 자료에 의한 평가항목의 상대적 중요도(w) 및 평가항목간의 상호작용계수(λ)를 조사한다.

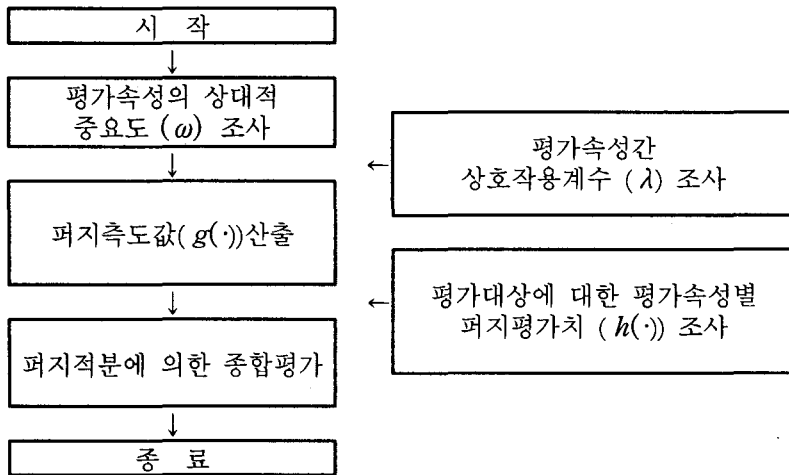
단계 2: 조사된 평가항목간의 상대적 중요도(w)와 평가속성간 상호작용계수(λ)로 식(2.4)

를 이용하여 퍼지측도치($g(\cdot)$)를 구한다.

단계 3: 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 4: 해역안전성 평가의 최하위 계층인 평가속성을 통합 평가한 퍼지적분을 수행하여 종합결과를 산출한다.

이상의 결과를 흐름도로 나타내면 <Fig. 4-1>와 같다.



<Fig 4-1> Flow chart of fuzzy integral

4.3 퍼지측도치 $g(\cdot)$ 및 퍼지 평가치 $h(\cdot)$ 산출

연안해역의 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 4-1>과 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 4-1> 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

*주) 평균 안개발생일수(x_1), 항로의 복잡성(x_2),

해상교통량(x_3), 해양사고 발생건수(x_4), 위험물 통항량(x_5)

그리고 일대비교에 의한 상호작용의 계수 $\lambda(\cdot)$ 는 설문에 의한 자료를 바탕으로 두 평가항목 간의 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 ± 0.4 로 평가하여 동일 항목에 대한 각 개인의 값을 평균한 결과 <Table 4-2>와 같이 λ 값은 - 0.35이 된다.

<Table 4-2> 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 μ 값과 상호작용 계수 λ 를 구하였으므로 $g(x_1)$ 부터 $g(x_5)$ 까지의 평가항목에 대한 퍼지측도치 $g(\cdot)$ 의 합계는 1.162이다. 그러나 퍼지측도치를 퍼지측도 공간에 적용하기 위해서는 퍼지측도치의 합계가 1.000이 되는 표준화가 필요하다. <Table 4-3>은 각 평가요소의 퍼지측도치와 표준화한 결과이다.

<Table 4-3> The value of fuzzy measure $g(\cdot)$

$g(\cdot)$	퍼지측도치	표준화
$g(x_1)$	0.066	0.057
$g(x_2)$	0.205	0.176
$g(x_3)$	0.239	0.206
$g(x_4)$	0.466	0.401
$g(x_5)$	0.186	0.160
합 계	1.162	1.000

한편 각 해역별 해역 안전성 평가를 위한 평가항목에 대한 퍼지 평가치 $h(\cdot)$ 를 살펴보면, 평균 안개일수는 인천근해해역이 가장 높고, 여수 및 포항근해해역이 낮은 편이며 항로의 복잡성은 부산 및 목포, 인천근해해역이 다른 해역에 비해 0.9이상으로 높은 편이다. 해상 교통량과 해양사고 발생건수는 목포부근해역이 가장 높으며, 위험물운송량은 포항근해해역이 가장 높고, 목포 및 동해근해해역이 0.1이하로 다른 해역에 비해 상대적으로 낮은 편이다. 각 해역별 평가항목에 대한 구체적인 퍼지 평가치는 <Table 4-4>와 같다.

<Table 4-4> Pairwise comparison matrix and weight of evaluation factors by AHP

항목	$h(x_1)$	$h(x_2)$	$h(x_3)$	$h(x_4)$	$h(x_5)$
A	1.000	0.917	0.383	0.309	0.885
B	0.639	0.841	0.306	0.321	0.023
C	0.196	0.972	1.000	1.000	0.008
D	0.181	0.864	0.434	0.641	0.630
E	0.037	0.875	0.086	0.371	0.048
F	0.101	1.000	0.113	0.440	0.103
G	0.018	0.843	0.298	0.519	1.000
H	0.071	0.657	0.072	0.287	0.007

4.4 해역별 안전성 종합평가

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

각 해역별 항행 안전성 종합평가 결과는 <Table 4-5>에 보이는 바와 같이 8개 평가대상해역 중 목포근해해역이 다른 해역에 비하여 가장 안전성이 낮고, 다음으로 여수근해해역, 포항근해해역, 부산근해해역, 인천근해해역, 거제근해해역, 군산근해해역, 동해근해해역 의 순서로 나타

났다.

목포근해해역이 다른 해역에 비하여 안전성이 가장 낮게 평가된 것은 중요도가 높은 해상교통량 및 해양사고 발생건수가 다른 해역보다 높기 때문으로 판단된다.

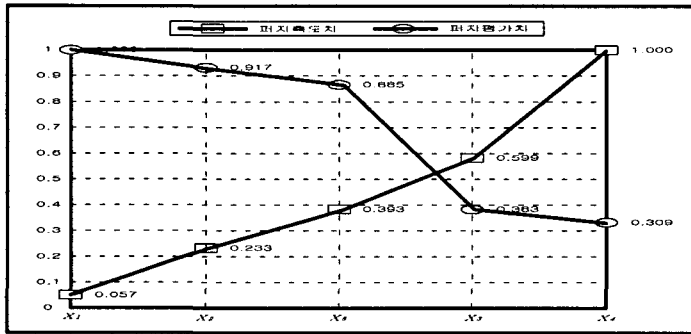
<Table 4-5> Evaluation result of each coastal area by fuzzy integral

해역	평가항목	평가절차					평가점수
		1	2	5	3	4	
A	평가항목	1	2	5	3	4	0.393
	퍼지평가치	1.000	0.917	0.885	0.383	0.309	
	퍼지측도치	0.057	0.233	0.393	0.599	1.000	
B	평가항목	2	1	4	3	5	0.321
	퍼지평가치	0.841	0.639	0.321	0.306	0.023	
	퍼지측도치	0.176	0.233	0.634	0.840	1.000	
C	평가항목	3	4	2	1	5	0.783
	퍼지평가치	1.000	1.000	0.972	0.196	0.008	
	퍼지측도치	0.206	0.607	0.783	0.840	1.000	
D	평가항목	2	4	5	3	1	0.630
	퍼지평가치	0.864	0.641	0.630	0.434	0.181	
	퍼지측도치	0.176	0.577	0.737	0.943	1.000	
E	평가항목	2	3	4	5	1	0.382
	퍼지평가치	0.875	0.562	0.371	0.086	0.037	
	퍼지측도치	0.176	0.382	0.783	0.943	1.000	
F	평가항목	2	3	4	5	1	0.440
	퍼지평가치	1.000	0.527	0.440	0.103	0.101	
	퍼지측도치	0.176	0.382	0.783	0.943	1.000	
G	평가항목	5	2	4	3	1	0.519
	퍼지평가치	1.000	0.843	0.519	0.298	0.018	
	퍼지측도치	0.160	0.336	0.737	0.943	1.000	
H	평가항목	2	4	3	1	5	0.287
	퍼지평가치	0.657	0.287	0.072	0.071	0.007	
	퍼지측도치	0.176	0.577	0.783	0.840	1.000	

퍼지측도치 $g(\cdot)$ 와 퍼지 평가치 $h(\cdot)$ 를 이용하여 퍼지적분에 의한 평가점수를 구하는 과정은 인천근해해역의 경우 <Table 4-6>과 <Fig. 4-2>, 목포근해해역의 경우 <Table 4-7>과 <Fig. 4-3>에 보이고 있으며 다른 해역에 대해서도 같은 방법으로 평가점수를 구할 수 있다.

<Table 4-6> Process of fuzzy integral in Incheon coastal area

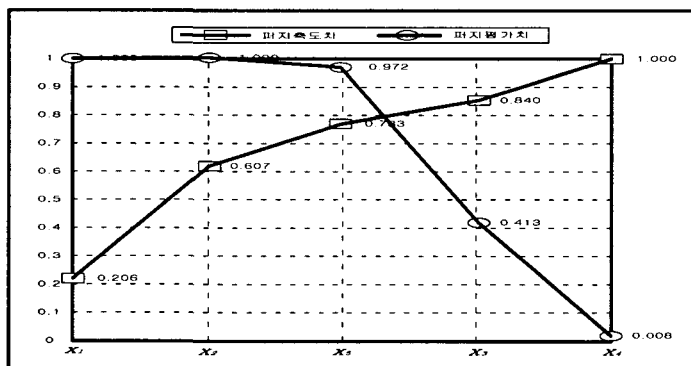
퍼지평가치		퍼지측도치		평가점수
$h(x_1)$	1.000	$g(x_1)$	0.057	
$h(x_2)$	0.917	$g(x_1, x_2)$	0.233	
$h(x_5)$	0.885	$g(x_1, x_2, x_5)$	0.393	
$h(x_3)$	0.383	$g(x_1, x_2, x_5, x_3)$	0.599	
$h(x_4)$	0.309	$g(x_1, x_2, x_5, x_3, x_4)$	1.000	



<Fig. 4-2> Evaluation result of Incheon coastal area

<Table 4-7> Process of fuzzy integral in Mokpo coastal area

퍼지평가치		퍼지측도치		평가점수
$h(x_3)$	1.000	$g(x_3)$	0.206	
$h(x_4)$	1.000	$g(x_3, x_4)$	0.607	
$h(x_2)$	0.972	$g(x_3, x_4, x_2)$	0.783	
$h(x_1)$	0.413	$g(x_3, x_4, x_2, x_1)$	0.840	
$h(x_5)$	0.008	$g(x_3, x_4, x_2, x_1, x_5)$	1.000	



<Fig. 4-3> Evaluation result of Mokpo coastal area

5. 결 론

본 연구는 우리 나라 전 연안해역에 대한 항행 안전성을 평가하기 위하여 해상교통의 흐름과 연안 VTS의 관제범위 등을 고려하여 평가 대상해역을 인천근해해역, 군산근해해역, 목포근해해역, 여수근해해역, 거제근해해역, 부산근해해역, 포항근해해역, 동해근해해역의 8개 해역으로 구분하였다. 그리고 선행연구에서 추출된 평균 안개발생일수, 항로의 복잡성, 해상교통량, 해양사고 발생건수, 위험물 통항량 등 5가지를 평가항목으로 선정하여 평가를 행하였다.

평가 모델로서는 평가항목간의 상호 중복성 및 인간의 주관성 개입을 고려하여 퍼지측도 및 퍼지적분 모델을 사용하였다.

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

목포근해해역과 여수근해해역이 다른 해역에 비하여 안전성이 낮게 평가된 것은 중요도가 높은 해양사고 발생건수 및 해상교통량이 다른 해역보다 높기 때문으로 판단된다.

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.

참 고 문 헌

- 1) 해양수산부, 연안선박통항신호(VTS) 설치를 위한 조사연구·기본 및 실시설계 용역보고서, 2000.
- 2) 本多中二·大里有生, ファジィ工學入門, 海文堂, 1989.
- 3) 금종수·윤명오·장운재, 연안해역 항행안전성 평가에 관한 연구, 해양환경안전학회지 제7권, 2001.
- 4) 이철영·이석태, 상호관련성을 지닌 계층구조형 문제의 평가 알고리즘, 한국항만학회, 제7권, 1호, 1993.
- 5) 구자윤, 계층분석법에 의한 선박 접이안 안전성의 평가 방안, 한국항해학회지, 제18권, 4호, 1994.
- 6) 이상화·이철영, 우리나라 연안의 해상교통관리시스템 설치를 위한 기초연구, 한국항해학회지, 제 12권, 2호, 1988.
- 7) 木下榮藏, 意思決定論入門, 近代科學社, 1996.

- 8) 木下榮藏, わかりやすい 數學モデルによる 多変量解析入門, 近代科學社, 1997, pp. 189~201.
- 9) 大西眞一・今井英幸・河口至商, 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, 1997.
- 10) 若林高明・山田村保・大内東, 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, 1997.
- 11) 喜多秀行, 航路体系代替案の評価法, 日本航海學會誌, 第95号, 1993.
- 12) T.L. Satty & K.P. Kearns, *Analytical Planning*, Pergamon press, 1985.
- 13) W. Yoram & T.L. Satty, Marketing application of AHP, *Management Science* Vol.26, No.27, 1980.
- 14) T.L. Satty, A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structure, *Journal of Mathematical psychology* Vol.15, No.3, 1980.