

퍼지적분 모델을 이용한 연안해역의 항행 안전성 평가에 관한 연구

금종수^{*} · 윤명오^{*} · 장운재^{*}

Evaluation of the Navigational Safety Level in the Korean
Coastal Waterway using Fuzzy Integral

J. S. Keum^{*} · M. O. Youn^{*} · W. J. Jang^{*}

〈목 차〉	
Abstract	4. 해역별 안전성 종합평가
1. 서 론	5. 결 론
2. 이론적 배경	참고문헌
3. 해역별 특성 분석	

Abstract

Marine Casualties cause the loss of human lives, properties and marine pollution. 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 in concern.

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 measure and integral to represent the fuzziness in the evaluation process.

Therefore this paper aims to develop the method for this evaluation using the fuzzy measure and 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 found as order as Mokpo, Yosu, Pohang, Busan, Inchon, Geoje, Gunsan, Donghae coastal area.

* 정회원, 목포해양대학교 해상운송시스템학부

1. 서 론

오늘날 해상수송량의 급증에 따른 해상교통량의 폭주, 선박의 대형화 및 고속화 등으로 인하여 해양사고의 양상이 복잡화, 대형화 추세를 보이고 있다.

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

이러한 연안해역에 있어서 선박통항량의 증가와 함께 양식어장의 확장 등에 따른 항로폭의 감소, 연안항로에 대한 관리의 부족 등으로 인하여 해양사고가 빈발하고 있다.

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

해양사고로 인한 막대한 인적·물적 손해를 줄이고 해양환경을 보호하기 위한 적극적인 대책을 수립할 필요가 있다.

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

한편, 평가문제에 있어서 복잡한 평가대상을 계층구조의 형태로 분석함으로써 의사결정을 보다 용이하게 하고자 하는 목적으로 널리 사용되고 있는 방법으로서 계층분석법이 있다. 그러나 계층분석법은 각 평가항목의 중요도를 가법성이 성립하

는 확률측도로 구성하고 단순가중법에 의하여 중요도를 통합하는 방법을 취하고 있어 가법성이 성립하지 않는 대상을 평가할 때에는 그 적용에 한계가 있다.

이러한 경우 퍼지측도를 이용한 비가법적인 평가방법으로서 평가요소가 독립적인 요소와 종속적인 요소가 존재되어 있어도 사용할 수 있는 퍼지적분이 유효한 것으로 알려져 있다.²⁾

퍼지적분에 의한 평가법은 가법성을 가지지 않는 평가기준의 중요도를 가법성을 만족하지 않는 주관적인 척도를 취급하는 퍼지측도로 하고, 퍼지적분에 의하여 종합 평가한다. 그리고 퍼지적분은 가법적인 경우도 특별한 경우로서 포함하고 있기 때문에 계층분석법을 포함하고 있다고 할 수 있다.

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

2. 이론적 배경

연안해역의 안전성을 평가하기 위하여 본 연구에서는 확률측도로 표현된 중요도를 퍼지측도로 변환시키고, 일대비교의 방법으로 평가요소의 상대적 중요도 및 평가요소간의 상호작용계수를 조사한 다음 이를 기초로 도출된 퍼지측도치와 자료 또는 기존의 평가기준에 의해 구해진 평가속성별 퍼지 평가치를 퍼지적분하여 종합평가치를 구하고자 한다. 아래에서는 퍼지측도와 퍼지적분에 대하여 간략히 살펴보기로 한다.

2.1 퍼지측도

퍼지측도(fuzzy measure)는 애매한 대상을 주관적으로 계량할 때의 척도이며, 전체집합 X의 임의의 부분집합 A, B를 구간 [0, 1]의 실수치에 대응시키는 집합함수 g가 다음 조건을 만족하면 g를

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

식(2.5)의 퍼지적분 정의로부터 다음의 성질을 얻는다.

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

단, $F_\alpha = \{x \mid h(x) \geq \alpha\}$

A 는 적분영역으로서 $A=X$ 일 때에는 생략한다. F_α 에서는 α 가 클수록 집합이 작아지며, 또한, 퍼지 측도 g 는 단조성을 갖기 때문에 $g(A \cap F_\alpha)$ 의 측도치는 α 가 클수록 감소한다.

또한, 퍼지적분은 다음과 같은 성질을 갖는다.

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

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

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

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 X 가 유한집합인 경우, 함수 h 를 다음과 같이 $h(x_1) \geq h(x_2) \geq h(x_3) \geq \dots \geq h(x_n)$ 크기 순으로 나열하면 퍼지적분은 아래 식(2.10)과 같이 표현된다.

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

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

이상의 퍼지적분과정을 Fig. 2-1에 보이고 있다.

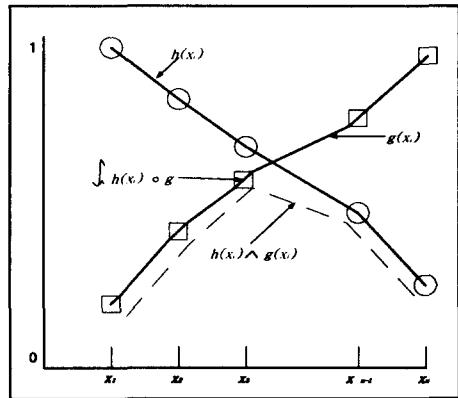


Fig. 2-1. Process of fuzzy integral

3. 해역별 특성 분석

3.1 대상해역의 범위

우리 나라 연안해역을 동·서·남해역으로 개략적으로 구분할 경우 주요한 항구로서는 서해안은 인천, 대산, 평택, 태안, 보령, 장항, 군산항, 남해안은 목포, 완도, 여수, 광양, 마산, 삼천포, 옥포, 거제, 진해, 통영, 고현, 부산항 등이며, 동해안은 포항, 울산, 삼척, 목포, 동해, 옥계항을 들 수 있다. 본 연구에서 대상해역의 범위의 설정은 연안 VTS의 관리수역의 범위를 고려하여 연안에서 30마일 이내의 해역으로 한정하고, 외항선항로, 연안선항로, 여객선항로, 어선의 움직임과 각 해역의 주요 항만 등을 고려하여 우리 나라의 전 연안해역을 8개 해역으로 구분하였다.

대상해역의 구체적인 범위는 Fig. 3-1과 같다.

- 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

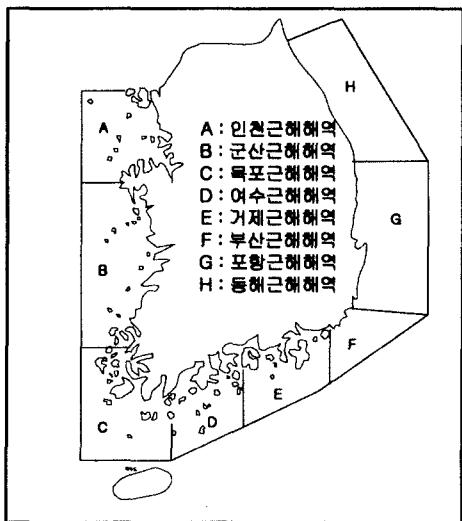


Fig. 3-1. Candidated areas of evaluation

- 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) 우리나라 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.

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 평

<Table 3-1> Frequency of foggy days in 8 sectors (1980~1999)

대상 해역	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

균값을 사용하였다.

각 대상해역에 대한 항로의 복잡성에 대한 평가 결과 <Table 3-2>와 같이 부산, 목포, 인천, 거제 근해해역이 높게 나타났다.

3) 해상교통량

해상교통량을 구성하는 기본 요소는 외항화물선, 연안화물선, 연안여객선, 어선 등을 들 수 있다. 우리나라 연안해역에 있어서의 해상교통량은 매년 증가 추세를 보이고 있는데 본 연구에서는 1999년도의 해상교통량의 기종점 분석을 실시하였다.

외항선의 교통량은 각 해역별로 기종점이 되는 주요 항만의 입출항 척수를 조사하였다. 우리나라에 출입항하는 외항선에 대한 각 해역별 기종점이 되는 항만은 다음과 같다.

인천근해해역-인천, 대산, 평택항

군산근해해역-태안, 보령, 장항, 군산항

목포근해해역-목포, 완도항

여수근해해역-여수, 광양항

거제부근해역-마산, 삼천포, 옥포, 거제, 진해, 통영, 고현항

부산근해해역-부산항

포항근해해역-포항, 울산항

동해근해해역-삼척, 목호, 동해, 옥계항

외항선의 경우 부산근해해역이 41,201척으로 가장 많고 목포근해해역 949척, 동해근해해역 1,356척으로 다른 해역에 비해 적게 나타나고 있다.

<Table 3-2> Degree of complexity in waterway

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

또한, 연안선의 해상교통량은 전국 무역항의 경우 각 관할 지방해양수산청에 입출항 신고를 하고 있기 때문에 PORT-MIS의 전산자료를 이용하여 기종점 분석을 행하였다. 연안선의 해상교통량은 부산근해해역 36,644척, 여수근해해역 34,027척으로 다른 해역에 비해 연안선의 교통량이 높고, 동해근해해역은 6,607척으로 교통량이 낮게 나타났다.

그리고 연안여객선은 전국 11개의 한국해운조합 지부와 3개의 출장소 그리고 기타 파견지에서 관리하고 있다. 따라서 이러한 현실을 고려하여 연안여객선의 교통량은 각 지부에서 관리 집계하는 여객선의 입출항 척수에 대한 전산자료를 이용하였다. 연안여객선은 목포근해해역이 168,496척으로 가장 많고 동해근해해역 및 포항근해해역은 2,934척으로 가장 적게 나타나고 있다.

한편, 어선의 움직임은 어업의 형태나 어장의 형성에 따라 어선군을 이루어 어업하는 것이 보통이므로 일관성 있는 교통흐름을 파악한다는 것은 매우 어렵다. 그러므로 어선의 교통량을 분석할 때 각 어항의 출입항신고서를 실제적인 자료를 모아서 분석할 수 있으나 상선이나 여객선과 같이 종기점이 신고사항이 될 수 없는 점과 전국 406개의 어항에 신고소가 항마다 다수로 산재해 있어 이러한 조사방법이 정확하다고 할 수는 없다. 따라서 각 지방해양수산부에 등록된 어선척수를 이용하였다. 어선은 거제부근해역이 24,299척으로 가장 많고 인천근해해역이 2,400척으로 가장 적다.

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

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

4) 해양사고 발생건수

일반적으로 해양사고는 교통관련사고와 기술관련사고로 분류할 수 있다. 교통관련사고는 선박의 충돌, 좌초, 접촉사고 등을 말하며, 기술관련사고는 화재 및 폭발, 침몰, 전복, 침수사고 등을 말한다.

각 해역별로 지난 10년간(1991년~2000년) 전체

<Table 3-3> 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

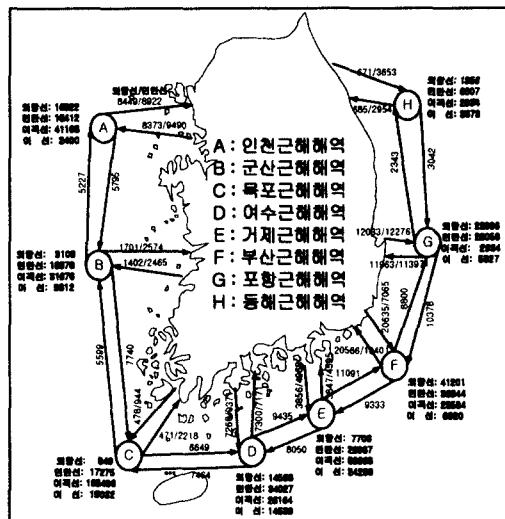


Fig. 3-2. Dynamic traffic volume in 8 sectors

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.

5) 위험물 취급량

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

일반적으로 대상해역의 해상교통량 조사 또는 동적 교통량을 추정하는 경우에 위험물운반선이

<Table 3-4> Statistics of marine casualties

대상 해역	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

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 사용하여, 각 해역별 위험물 취급량은 <Table 3-5>와 같다.

위험물 취급량이 가장 많은 해역으로는 포항근해역이 186,305천톤 및 인천근해해역이 164,944천톤으로 다른 해역 비해 높게 나타났으며, 위험물 취급량이 가장 낮은 해역은 목포근해해역으로 1,554천톤으로 나타나고 있다.

4. 해역별 안전성 종합평가

4.1 평가항목의 선정

연안해역의 항행 안전성을 평가하기 위하여 먼저 평가항목을 선정할 필요가 있다.

<Table 3-5> Weight of dangerous cargo volume

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

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 취급량(x_5)

이상의 평가항목이 지니고 있는 특성을 살펴보면 대상해역에 대한 평균 안개발생일수, 해상교통량 및 해양사고 발생건수, 위험물 취급량 등은 객관적인 자료로서 추출할 수 있으나, 항로의 복잡성을 경험자의 주관적인 평가자료를 추출하여 사용할 필요가 있다. 특히 해양사고 발생건수는 다른 평가요소가 복합적으로 작용하여 도출된 결과로써 각 평가항목이 독립적으로 작용한다고 할 수 없는 성질을 지니고 있다. 따라서 인간의 주관성이 개입된 자료와 평가요소 간 상호증복성이 있는 경우에도 평가할 수 있는 퍼지측도 및 퍼지적분을 이용하여 연안해역의 안전성을 평가한다.

4.2 퍼지측도 및 퍼지적분법 알고리즘

연안해역의 항행 안전성을 평가하기 위한 퍼지측도 및 퍼지적분에 의한 평가는 아래 4단계에 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)을 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 취함으로서 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.

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

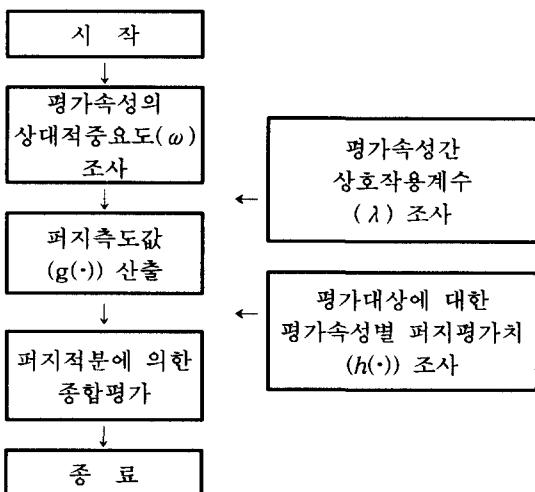


Fig. 4-1. Flow chart of fuzzy integral

<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)

통상 계층분석법에서 인정되는 0.1이하의 값으로 그 유효성이 인정된다.

그리고 일대비교에 의한 상호작용의 계수 $\lambda(\cdot)$ 는 설문에 의한 자료를 바탕으로 두 평가항목간의 상호작용을 물고 각각 상승 또는 상쇄작용을 질문하여 (-1, 1)의 공간에 위치하도록 하였으며, 상호작용정도에 대한 값은 약간 적다는 ±0.1, 보통이다

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 1.162 ± 0.2, 약간 많다 ± 0.3, 크다 ± 0.4로 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_4				0	-0.21
x_5					0

$$\lambda = -0.35$$

이다. 그러나 퍼지측도치를 퍼지측도 공간에 적용하기 위해서는 퍼지측도치의 합계가 1.000이 되는 표준화가 필요하다. <Table 4-3>은 각 평가요소의 퍼지측도치와 표준화한 결과이다.

한편 각 해역별 안전성 평가를 위한 평가항목에 대한 평가치 $h(\cdot)$ 를 살펴보면, 평균 안개 발생일수와 지속시간을 함께 고려한 경우 인천부근해역이 가장 높고, 포항 거제, 동해근해해역이 낮게 나타나고 있다.

항로의 복잡성은 부산, 목포, 인천근해해역이 다른 해역에 비해 상대적으로 높게 나타났다. 해상교통량과 해양사고 발생건수는 목포부근해역이 가장 높으며, 위험물 취급량은 포항근해해역이 가장 높고, 목포 및 동해근해해역이 다른 해역에 비해 상대적으로 낮은 편이다.

해역별로 각 평가항목에 대한 구체적인 퍼지 평가치는 <Table 4-4>와 같다.

<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
합계	1.162	1.000

<Table 4-4> Overall evaluation value $h(\cdot)$

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, 동해근해해역의 순서로 나타났다.

목포근해해역이 다른 해역에 비하여 안전성이

<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	

가장 낮게 평가된 것은 중요도가 높은 해상교통량 및 해양사고 발생건수가 다른 해역보다 높기 때문에으로 판단된다.

5. 결 론

우리 나라 연안해역에 있어서 해양사고의 빈발로 인한 물적·인적손실 및 해양환경오염 등 막대한 피해로 이어지고 있다.

이러한 해양사고를 미연에 방지하여 피해를 최소화하기 위한 방안으로서 항행보조시설의 증설, 연안VTS의 설치 등을 통하여 연안해역의 해상교통을 적극적으로 관리할 필요가 있다. 그러나 이러한 시설의 설치 이전에 그 해역에 대한 항행 안전성을 평가하여 우선 순위를 결정할 필요가 있다.

따라서 본 연구는 우리나라 전 연안해역에 대한 항행 안전성을 평가하기 위하여 해상교통의 흐름과 연안 VTS의 관제범위 등을 고려하여 평가대상해역을 인천근해해역, 군산근해해역, 목포근해해역, 여수근해해역, 거제근해해역, 부산근해해역, 포항근해해역, 동해근해해역의 8개 해역으로 구분하였다. 그리고 선행연구에서 추출된 평균 안개발생일수, 항로의 복잡성, 해상교통량, 해양사고 발생건수, 위험률 취급량 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 때문에으로 판단된다.

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

교통을 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 항행 안전성 평가에 관한 연구, 해양환경·안전학회지 제7권, 2호, 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 해상교통관리 시스템 설치를 위한 기초연구, 한국항해학회지, 제12권, 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, 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, 日本ファジイ學會誌, 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.