

論 文

연안해역의 항행 안전성 평가에 관한 연구

김 종 수* · 윤 명 오* · 장 운 재*

Assessment of the Navigational Safety Level in the Korean Coastal Waterway

J. S. Keum · M. O. Youn* · W. J. Jang**

〈 목 차 〉

Abstract

1. 서론

2. 해역안전성 평가항목

3. 대상해역의 선정 및 해역별 특성

4. 계층분석법에 의한 해역안전성 평가

5. 결론

참고문헌

Abstract

In recent years, the marine traffic congestion has increased due to the expansion of vessel traffic volume in Korean coastal waterway. Heavy traffic could bring serious marine casualties which cause the loss of human lives, properties and marine pollution in coastal area.

The prevention of marine accidents has been a major topic in marin society and various policies and countermeasures have been developed, applied to the industries.

VTS(Vessel Traffic Services) is considered as one of effective method to promote marine safety but it needs relatively huge amount of budgets to build and also number of personnels for the operation.

Thus prior to establishing the VTS, it should be surveyed the marine traffics, general conditions of waterway including geographical, meteorological characteristics and assessed to find the most reasonable area and places for the system.

* 정회원, 목포해양대학교 해상운송시스템학부

Therefore this paper aims to develop the method for this evaluation through the hierarchical evaluation structure model in connection with ISM(interpretive structural modeling) and AHP(analytic hierarchy process) methods.

The model in this paper is applied to 4 coastal areas in Korean waterway as candidates and found that the priority for the needs of VTS should be in order such as Yosu, Wando, Mokpo, Geoje coastal area.

1. 서론

해양에서의 재난을 방지하고자 하는 인간의 노력에도 불구하고 오늘날 해상교통량의 급증과 선박의 대형화, 고속화 추세에 따라 해양사고의 발생 개연성은 더욱 증가하고 있다.

이러한 해양사고는 결국 인명의 사상, 선박과 화물의 손상, 멸실 및 해양환경오염 등 막대한 피해로 이어지고 있어 국가적인 손실뿐만 아니라 인접국까지 그 영향을 미치고 있다.

우리 나라의 경우 1991년부터 2000년까지 지난 10년간 연평균 673건의 해양사고가 발생하고 있으며, 이로 인하여 매년 약 253명에 달하는 귀중한 인명이 사망 또는 행방불명되고 있어 막대한 인적·물적 손해가 발생하고 있다. 이러한 해양사고의 발생 위치는 항내보다 항외의 연안해역에서 사고발생률이 높고, 특히 남해안 연안해역에서의 발생률이 다른 해역에 비하여 3배 이상 많이 발생하고 있다.¹⁾

한편, 선진 외국에서는 항만 및 그 인접수역 뿐만 아니라 연안수역까지를 해상교통관리 해역으로 확장하고 있으며, 해양사고가 빈발하고 있는 연안해역에 연안 VTS(Vessel Traffic Services) 등 항행보조시설을 설치하여 연안해역에서의 해상교통안전을 확보하고 있다.²⁾

따라서 해양사고가 빈발하고 있는 우리 나라 연안해역에 대한 선박통항 안전성을 확보하기 위하여 연안해상교통을 보다 체계적으로 관리할 필요성이 증대되고 있으며, 그 방안으로 연안 VTS의 설치를 검토하고 있다.

그러나 연안 VTS의 설치는 막대한 비용이 요구되므로 연안 VTS를 설치하기 이전에 대상해역에 대한 안전성을 평가하여 설치 우선 순위를 결정할 필요가 있다.

본 연구는 연안 VTS 설치 후보지인 목포근해해역, 완도근해해역, 여수근해해역, 거제근해해역의 4개 해역에 대한 안전성을 평가하는데 목적이 있다.

연안해역의 안전성을 평가하기 위하여 먼저 평가요소를 Brain Storming법에 의해 추출하고 해양수산관련 분야의 선박운항 경험이 있는 교수, 연구원 등의 전문가 그룹 12명 및 현재 선박에 승무중인 선장을 포함한 항해사 18명을 포함한 전체 30명을 대상으로 면접 및 설문조사를 실시하였다.

이러한 설문조사 결과를 바탕으로 연안해역 안전성 평가요소를 계층화하고 계층간에 속하는 요소들의 종속관계를 그래프로 나타내기 위하여 일대비교 데이터로부터 계층구조 모델을 구성하는 대표적인 수법인 ISM법을 이용하여 연안해역의 안전성 평가를 위한 계층구조모델을 구축하였다. 또한 계층분석법(AHP)을 이용하여 평가항목간 상대적 중요도를 구하여 대상해역의 안전성을 평가하였다.

2. 해역안전성 평가항목

2.1 평가항목의 성질

대상해역의 안전성이 낮다는 것은 해양사고가 발생할 가능성이 높은 해역을 의미하며, 연안해역의 안전성을 평가할 때 먼저 평가항목을 선정하는 것이 중요하다.^{3),4),5)}

본 연구에서는 해역의 안전성 평가를 위하여 5개의 평가항목을 추출하였으며 각 항목의 속성은 아래와 같다.

1) 기상·해상조건:

기상이나 해상상태 등의 특성을 말하며 안개(시정),

바람, 폭풍, 태풍, 파랑, 조석, 조류, 파도 등을 포함한다.

2) 항로조건:

항로상의 장애물 등으로 인하여 항해자가 느끼는 위험도에 관한 요소로서 항로의 복잡성, 항로의 폭, 항로의 만곡도, 항로의 수심 등을 포함한다.

3) 해상교통량:

해상교통량은 대상해역을 통항하는 선박의 교통량을 말하며 동적 교통량과 정적 교통량을 포함한다.

4) 해양사고 발생건수:

대상해역의 안전성을 평가할 때 해양사고 발생건수에 의한 위험성의 정도를 평가하는 요소로서 교통 관련사고, 기술관련사고를 포함한다.

5) 사고피해의 정도:

대상해역을 통과하는 선박 적재화물의 성질상 해양사고 발생 시 피해의 크기에 영향을 미치는 요소로서 적재화물의 성질, 선박의 크기, 선박의 종류 등을 포함한다.

Table 2-1 List of evaluation factors

번호	요소의 내용	번호	요소의 내용
1	해역 안전성	14	항로의 만곡도
2	기상·해상조건	15	항로의 수심
3	안개(시정)	16	해상교통량조건
4	바람	17	동적 교통량
5	폭풍	18	정적 교통량
6	태풍	19	해양사고 발생건수
7	파랑	20	교통관련사고
8	조석	21	기술관련사고
9	조류	22	피해의 정도
10	파도	23	적재화물의 성질
11	항로조건	24	선박의 크기
12	항로의 복잡성	25	선박의 종류
13	항로의 폭		

행렬식에서 1로 표시한다. 그리고 단위행렬 I 를 추가하여

$$N = E + I \tag{2-1}$$

로 한다. 이 N 의 역승을 차례로 구하여 도달행렬 N^{-1} 을 계산한다. 다음으로 이 도달행렬로부터 각 요소 t_i 에 대해서

$$\text{도달집합 } R(t_i) = \{ t_j \mid n_{ij} = 1 \} \tag{2-2}$$

$$\text{선행집합 } A(t_i) = \{ t_j \mid n_{ji} = 1 \} \tag{2-3}$$

를 구한다.

각 요소의 계층구조에 있어서 레벨의 결정은 이 도달집합 $R(t_i)$ 과 선행집합 $A(t_i)$ 로부터

$$R(t_i) \cap A(t_i) = R(t_i) \tag{2-4}$$

로 되는 것을 축차적으로 구하여 구조화행렬을 완성하고 이 구조화행렬에 의해 계층구조가 결정된다.

이상과 같은 순서로 구한 연안해역의 안전성 평가를 위한 평가항목과 속성을 계층구조로 표시하면 <Fig. 2-1>과 같다. 이러한 계층구조는 평가 대상이 거대하

2.2 평가계층구조 모델

해역의 안전성을 평가할 때 평가항목을 계층구조화하는 기법으로는 Brain Storming법, Dematel법 K.J.법 등이 있으나 인간의 직관이나 경험적인 판단에 의한 인식의 애매성 및 모순점을 수정하여 문제를 보다 객관적으로 명확히 하여 계층구조화하는 수법으로는 ISM법이 유효한 것으로 알려져 있다.^{6),7)}

ISM법을 이용하여 평가항목을 계층구조화하기 위하여 먼저 설문조사를 바탕으로 <Table 2-1>과 같은 25개의 요소를 일대비교를 행하여 요소 i 가 요소 j 에 영향을 준다면 1, 그렇지 않다면 0인 관계행렬(E)을 작성한다.

이때 각 속성에 대한 요소의 종속관계는 설문대상자 30명의 평균이 0.6이상인 경우 종속관계가 있다고 하고

Table 2-2 Importance index of evaluation factors based on a five-point scale

기상·해상		항로조건		해상교통량		해양사고 발생건수		피해의 정도	
요소	중요도	요소	중요도	요소	중요도	요소	중요도	요소	중요도
안개	4.70	항로의 복잡성	4.73	동적교통량	4.43	교통관련사고	4.43	적재화물의 성질	4.50
태풍	4.23	항로의 폭	3.70	정적교통량	3.10	기술관련사고	3.86	선박의 크기	3.10
폭풍	3.63	항로의 수심	3.33					선박의 종류	3.10
파랑	3.00	항로의 만곡도	3.20						
바람	2.83								
파도	2.63								
조류	1.86								
조석	1.09								

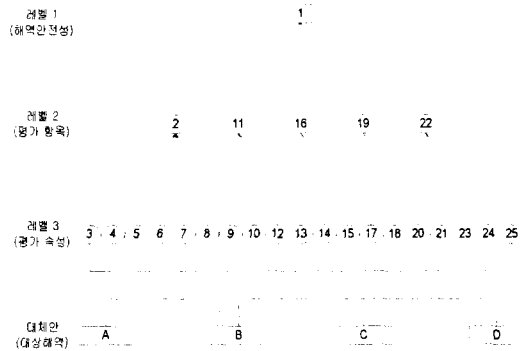


Fig. 2-1 Hierarchical evaluation structure of the safety level in coastal waterway

고 복잡할수록 계층의 수는 많아지게 되고 하위 계층으로 갈수록 그 속성이 구체적으로 나타나게 된다. 또한 여기에서 레벨 2의 평가항목은 상호 독립적인 성격을 갖는다.

2.3 평가항목의 선정

연안해역의 안전성을 평가하기 위하여 가장 먼저 평가항목을 결정하여야 한다.

따라서 본 연구에서는 일반적으로 연안해역의 안전성에 영향을 미치는 요소로서 기상·해상조건, 항로조건, 해상교통량, 해양사고 발생건수 및 해양사고 발생시의 피해의 정도를 평가항목으로 선정하였다. 그리고

각 평가항목의 속성 중에서 가장 중요한 요소를 추출하기 위해 5점 척도로 설문조사를 실시하였으며 각 요소의 상대적 중요도는 <Table 2-2>와 같다.

연안해역의 안전성을 평가하는 데 있어서 기상·해상조건 중에는 여러 가지 요소들이 포함되어 있으나 안개가 가장 중요한 요소로 추출되었다.

항로조건은 대상해역의 복잡성이 가장 중요한 요소로 추출되었으며, 해역의 복잡성은 객관적으로 관측할 수 있는 양이라기보다 선박운항자의 경험적 판단으로부터 자료를 추출할 필요가 있다.

해상교통량조건은 대상해역을 통과하는 외항선, 연안선, 어선 및 기타 선박의 동적 교통량이 가장 중요한 요소로 추출되었다.

대상해역의 안전성에 영향을 미치는 해양사고 중에서 충돌, 좌초 등의 교통관련사고가 중요한 요소로 추출되었으나 연안 VTS는 교통관련사고의 예방 및 기술관련사고에 대한 지원을 목적으로 하고 있으므로 두 유형의 사고 모두를 해양사고 발생건수로 사용한다.

또한, 대상해역에서 해양사고 발생으로 인한 피해의 정도에 관한 항목에서 가장 중요한 요소는 대상해역을 통항하는 선박의 적재화물의 성질이 가장 중요한 요소로 추출되었다.

이상의 결과로부터 본 연구에서는 평균 안개발생일수, 항로의 복잡성, 동적 교통량, 해양사고 발생건수, 선박 적재화물의 성질을 각 평가항목을 대표하는 요소로 선정하고 계층분석법을 이용하여 연안해역의 안전성을 평가하고자 한다.

3. 대상해역의 선정 및 해역별 특성

3.1 대상해역

해양사고의 발생 위치는 항내보다 항외의 연안해역에서 사고발생률이 높고, 특히 남해안 연안해역에서의 발생률이 다른 해역에 비하여 3배 이상 많이 발생하고 있다.

따라서 본 연구에서는 이러한 점들을 고려하여 대상해역을 현재 연안해역의 안전성을 확보하기 위하여 서·남해안의 연안 VTS 설치를 검토 중인 다음 4개의 해역을 선정하였다. 대상해역의 범위는 연안 VTS의 관리구역 범위를 고려하여 연안에서 약 30마일 이내의 해역으로 한정하였으며, 대상해역의 구체적인 범위는 <Fig. 3-1>과 같다.

1) 목포근해해역(A): 북위 35도 10분 동경 126도 08분, 북위 35도 10분 동경 125도 20분, 북위 33도 40분 동경 125도 20분, 북위 34도 20분 동경 126도 08분 지점을 연결한 해역

2) 여수근해해역(B): 북위 33도 40분 동경 127도, 북위 34도 40분 동경 127, 북위 33도 40분 동경 128도, 북위 33도 40분 동경 128도, 북위 34도 40분 동경 128도 지점을 연결한 해역

3) 거제근해해역(C): 북위 33도 40분 동경 128도, 북위 34도 40분 동경 128도, 북위 33도 30분 동경 129도, 북위 35도 10분 동경 129도 지점을 연결한 해역

4) 완도근해해역(D): 북위 33도 40분 동경 125도 20분, 북위 33도 40분 동경 127도 10분, 북위 34도 20분 동경 126도 08분, 북위 34도 40분 동경 127도 10분 지점을 연결한 해역

3.2 대상해역의 특성

연안해역의 안전성을 평가하기 위하여 <Table 2-2>의 여러 요소 중 대표 속성을 갖는 항목으로서 다음과 같이 선정된 평가항목에 대하여 각 해역별 특성을 살펴보고자 한다.

1) 기상·해상조건

기상·해상조건을 대표하는 요소인 안개의 경우 안개발생일수 및 안개지속시간을 함께 고려하는 것이 바람직하다.

지난 20년간(1980년~1999년) 각 대상해역별 연평균 안개발생일수 및 지속시간은 <Table 3-1>과 같다. 연평균 안개 발생일수는 목포근해해역이 27.2일로 가장 높게 나타나고 있으나, 안개 지속시간을 완도근해해역이 가장 높은 것으로 나타났다. 이 중 가장 큰 값을 1.00으로 하여 이에 대한 상대적인 비율로서 각 해역의 평가치를 구하였다.

Table 3-1 Frequency of foggy days in candidated area(1980~1999)

대상 해역	안개(연평균)			평가치
	발생일수(a)	지속시간(b)	[a]×[b]	
A	27.2	102.3	2,782.6	0.98
B	18.6	64.3	1,196.0	0.42
C	24.2	116.5	2,819.2	0.99
D	23.2	121.8	2,825.8	1.00

2) 항로조건

항로조건을 대표적인 요소로 추출된 해역의 복잡성은 객관적으로 측정하기가 매우 어려운 평가항목으로 대상해역의 지형, 항로의 복잡성 및 섬들의 분포상황 등에 따라 선박운항자의 경험적 판단으로부터 자료를

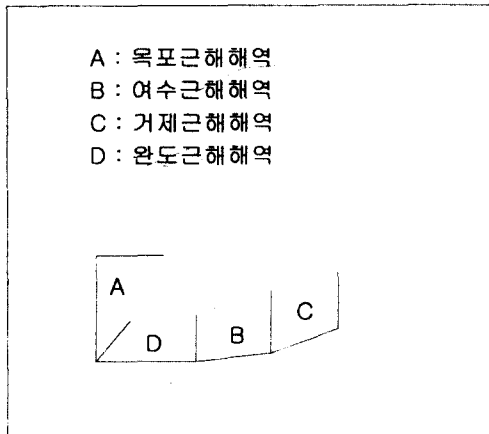


Fig. 3-1 Candidated area of evaluation

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. 대상해역의 복잡성에 대한 평가결과는 <Table 3-2>와 같다.

Table 3-2 Degree of complexity in waterway

대상해역	항로의 복잡성	평가치
A	4.02	0.91
B	3.75	0.85
C	3.80	0.86
D	4.41	1.00

3) 해상교통량

해상교통량은 대상해역의 동적 교통량을 파악하기 위하여 2000년 7월 20일부터 8월 18일까지 30일간 레이다 관측 및 목시관측을 병행하여 실시하였다. 교통량 관측지점은 목포근해해역은 하조도와 칠발도, 여수근해해역은 소리도와 거문도, 거제근해해역은 매물도, 완도근해해역은 어룡도와 당사도에서 관측조사를 실시하였다.

각 해역별로 관측된 교통량은 <Table 3-3>에서와 같이 목포근해해역과 거제근해해역에서 높게 나타나고 있다.

Table 3-3 Traffic volume in candidate area

대상해역	해상교통량(척)	평가치
A	76.3	1.00
B	63.7	0.83
C	75.1	0.98
D	52.4	0.69

4) 해양사고 발생건수

일반적으로 해양사고는 교통관련사고와 기술관련사

고로 분류할 수 있다. 교통관련사고는 선박의 충돌, 좌초, 접촉사고 등이며, 기술관련사고는 화재 및 폭발, 침몰, 전복, 침수사고 등을 말한다.

각 대상해역별로 지난 10년간(1991년~2000년) 해양사고 발생건수를 분석한 결과는 <Table 3-4>와 같다. 교통관련사고 및 기술관련사고를 포함한 전체 해양사고의 발생빈도는 여수근해해역과 완도근해해역에서 많이 발생하고 있다.

연안해역의 안전성 평가에서는 연안 VTS의 설치 목적을 고려하여 교통관련사고와 기술관련사고 전체를 고려한 해양사고 발생건수를 사용하였다.

Table 3-4 Statistics of marine casualties

대상해역	해양사고 발생건수			평가치
	교통관련사고	기술관련사고	계	
A	77	146	223	0.60
B	129	244	373	1.00
C	94	122	216	0.58
D	130	229	359	0.96

5) 피해의 정도

선박의 적재화물의 종류에 따라 해양사고가 발생했을 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, 대상해역의 위험물 취급량은 <Table 3-5>와 같다.

Table 3-5 Weight of dangerous cargo volume

대상해역	위험화물량(천톤)	평가치
A	1,553	0.01
B	117,434	1.00
C	5,290	0.04
D	1,553	0.01

각 대상해역별 주요 항만은 목포근해해역의 경우 목포항과 완도항, 여수근해해역은 여수항과 광양항, 거제근해해역은 옥포항, 거제항, 통영항과 삼천포항 그리고 완도근해해역은 완도항과 목포항을 대상으로 하였다.

$n(n-1)/2$ 개의 일대비교를 하게 된다. 이 일대비교에 중요성의 척도로 사용된 값은 $1/9, 1/8 \dots 1/2, 1, 2, \dots 8, 9$ 로 이 숫자의 내용은 <Table 4-1>과 같다.

4. 계층분석법에 의한 해역안전성 평가

Table 4-1 Scale of relative importance

상대적 중요도	정 의
1	비슷하게 중요
3	조금 중요
5	보통 중요
7	상당히 중요
9	매우 중요

4.1 계층분석법에 의한 평가방법

단, 평가항목의 비교가 중간인 경우 평균

계층분석법은 복잡한 평가대상을 계층구조의 형태로 분석함으로써 의사결정을 보다 용이하게 하고자 하는 목적으로 널리 사용되고 있다. 계층분석법을 이용한 의사결정방법은 최종목표, 평가기준, 대체안을 각각 해당되는 곳을 연결하여 계층구조를 나타내는 계층도를 만들고, 이 계층도에서 최종목표를 달성하기 위해서 어떤 대체안을 선택할 것인가를 결정하는 방법이다.

이상에서 얻어진 각 레벨의 일대비교행렬로부터 각 레벨의 요소간 가중치를 계산한다. 여기서 이 일대비교행렬은 역수행렬이지만 의사결정자가 대담하는 일대비교에 있어서 일관성이 있는 대답을 기대하기는 어렵다. 따라서 이 애매성의 척도로 정합도(C.I. : Consistency Index)를 정의한다.

계층분석법은 평가항목의 일대비교(Pairwise comparison)에 의한 비율로서 중요도를 결정하는 것이다. 이때 평가항목간의 전체적인 추이성은 일정범위 내에서 유지되어야 한다. 따라서 계층분석법에 의한 평가항목의 중요도에 따라 평가가 가능하게 된다.

3) 제 3 단계

계층분석법에 의한 연안해역의 안전성 평가는 다음과 같은 3단계로 이루어진다.

각 레벨의 요소간 가중치가 계산되면 그 결과를 이용하여 계층 전체의 가중치를 붙인다. 이렇게 하여 총합목적에 대한 각 대체안의 우선 순위를 결정한다.

1) 제 1 단계

계층분석법에 의한 평가항목의 중요도를 구하는 방법은 다음과 같다.

복잡한 상황하에 있는 연안해역의 안전성 평가 문제를 계층구조로 분해한다. 단, 계층의 최상층은 하나로 된 총합목적이다.

평가항목이 x_1, \dots, x_j 개가 있고 각 항목의 중요도를 w_1, \dots, w_j 이라고 하면 평가항목 x_i 와 x_j 간의 상대적인 중요도의 비교치 a_{ij} 는 식(4-1)과 같은 관계를 만족한다.

그 이하의 레벨에서는 의사결정자의 주관적 판단에 의해 한 층 위의 레벨에 있는 요소와의 관계로부터 결정된다. 레벨의 수는 문제의 구조에 의하여 결정되며 최하층에 대체안을 둔다.

$$a_{ij} = \frac{w_i}{w_j} \tag{4-1}$$

2) 제 2 단계

또한, a_{ij} 로부터 일대비교행렬 $A = [a_{ij}]$ 를 구성할 수 있으며, A 에 중요도의 벡터를 곱하면 식(4-2)와 같이 표현할 수 있다.

각 레벨의 요소간에 가중치를 붙인다. 어느 한 레벨의 요소간의 일대비교를 그 한 레벨 위에 있는 관계요소를 평가기준으로 한다.

여기에서 중요도 벡터는 행렬 A 의 고유벡터이고, n 은 일대비교행렬 A 의 최대고유치 λ_{\max} 이다. 행렬 A 의

n 을 비교요소의 수를 n 이라 하면 의사결정자는

$$\begin{bmatrix} w_1 & w_1 & \dots & w_1 \\ w_1 & w_2 & \dots & w_n \\ w_1 & w_2 & \dots & w_2 \\ w_2 & w_2 & \dots & w_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n & w_n & \dots & w_n \\ w_1 & w_2 & \dots & w_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = n \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} \quad (4-2)$$

최대고유치와 고유벡터를 구하면 그 고유벡터는 각 평가항목의 중요도가 된다.

행렬 A에는 n개의 고유치가 있고 그 합은 n이 되고 λ_{max} 이외의 고유치의 크기를 나타내는 지표로 λ_{max} - n으로 볼 수 있다. λ_{max} 이외의 고유치 크기의 평균은 식(4-3)과 같다.

행렬 A가 완전한 정합성을 갖는 경우에 C.I.값의 값은 0이 되고 그 값이 클수록 부정합성이 높다고 보며, C.I.의 값이 0.1 이하이면 정합성을 만족하는 것으로 한다.

$$C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (4-3)$$

또한, 대각요소를 1로 하고 행렬의 대칭요소는 역수 관계가 성립할 때 1/9, 1/8, ..., 1/2, 1, ..., 9의 값을 랜덤으로 넣어 만든 행렬 A의 C.I.를 수 차례 계산하여 그 평균치 M(Random Consistency Index)을 구하면 <Table 4-2>와 같다.¹¹⁾

Table 4-2 Random Consistency Index

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
M	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

이 C.I. 값을 M으로 나눈 값을 정합비(C.R.: Consistency Ratio)라고 하며 식(4-4)와 같다.

$$C.R. = \frac{C.I.}{M} \quad (4-4)$$

이 C.R.의 값도 정합도를 나타내는 또 하나의 지표로 사용할 수 있으며 C.R.의 값이 0.1 이하이면 중요도

의 해를 수용하는 것으로 한다.

4.2 연안해역의 안전성 평가 결과

1. 평가항목의 중요도

연안해역의 안전성을 평가하기 위하여 평가항목을 기상·해상조건, 항로조건, 해상교통량, 해양사고 발생건수 및 해양사고 발생 시의 피해의 정도를 선정하고, 이 5개의 평가항목에 대해 계층분석법의 일대비교에 의한 임의의 두 항목간의 상대적 중요도를 면접 및 설문조사를 실시하였다.

각 평가항목별 설문 응답자의 수에 따라 기하평균한 일대비교 자료 및 계층분석법에 의해 구한 평가항목의 중요도는 <Table 4-3>과 같다. 여기서 각 행렬의 대표치는 표본의 기하평균을 정수화한 값이다.

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

평가항목에 대한 일대비교 행렬로부터 구한 각 평가항목의 중요도의 크기를 보면 해양사고 발생건수가 0.413으로 가장 높고, 기상·해상조건이 0.055로 가장 낮게 나타났다.

Table 4-3 Pairwise comparison matrix and weight of evaluation factors by AHP

항목	[a]	[b]	[c]	[d]	[e]	중요도
[a]	1	1/4	1/4	1/5	1/3	0.055
[b]	4	1	1	1/3	1	0.173
[c]	4	1	1	1/3	2	0.203
[d]	5	3	3	1	2	0.413
[e]	3	1	1/2	1/2	1	0.156

λ_{max}=5.149, C.I.=0.037, C.R.=0.03

*주) [a]: 기상·해상조건 [b]: 항로조건
[c]: 해상교통량 [d]: 해양사고 발생건수
[e]: 피해의 정도

2. 평가항목별 평가치

평가항목별 평가치를 각 대상해역별로 살펴보면

<Table 4-4>와 같다. 각 평가항목별 정합도와 정합비는 모두 0.1이하로 양호한 결과를 가지고 있다.

기상·해상조건의 평가치는 여수근해해역(B)의 평가치가 0.059로 가장 낮고, 완도근해해역(D)이 0.323으로 가장 높게 나타나고 있어 여수근해해역이 기상·해상조건이 다른 해역에 비하여 양호한 것으로 나타나고 있다.

항로조건은 완도근해해역의 평가치가 0.455로 가장 높고, 여수근해해역과 거제근해해역(C)이 0.141로 가장 낮게 나타나고 있다. 이는 완도근해해역의 경우 많은 섬과 좁은 항로의 폭 등으로 인하여 다른 해역에 비하여 위험성이 높다는 것을 알 수 있다.

해상교통량 항목의 경우는 목포근해해역(A)과 거제근해해역의 평가치가 0.351로 가장 높게 나타나고 있으며, 완도근해해역이 가장 낮다.

해양사고 발생건수에 대한 평가치는 여수근해해역이 0.408를 가장 높고, 거제근해해역이 0.102로 가장 낮다.

해양사고가 발생한 경우 피해의 정도에 대한 평가치는 여수근해해역이 0.741로 가장 높다. 이 해역은 대형 유조선의 입·출항이 많기 때문으로 풀이된다.

Table 4-4 Pairwise comparison matrices and weights of each evaluation factor

1. Weather and sea conditions

해역	A	B	C	D	평가치
A	1	5	1	1	0.309
B	1/5	1	1/5	1/6	0.059
C	1	5	1	1	0.309
D	1	6	1	1	0.323

$\lambda_{max}=4.004$, C.I.=0.001, C.R.=0.0001

2. Route conditions

해역	A	B	C	D	평가치
A	1	2	2	1/2	0.263
B	1/2	1	1	1/3	0.141
C	1/2	1	1	1/3	0.141
D	2	3	3	1	0.455

$\lambda_{max}=4.010$, C.I.=0.003, C.R.=0.0003

3. Traffic volumes

해역	A	B	C	D	평가치
A	1	2	1	3	0.351
B	1/2	1	1/2	2	0.189
C	1	2	1	3	0.351
D	1/3	1/2	1/3	1	0.109

$\lambda_{max}=4.011$, C.I.=0.004, C.R.=0.0004

4. Sea casualties

해역	A	B	C	D	평가치
A	1	1/4	1	1/3	0.110
B	4	1	4	1	0.408
C	1	1/4	1	1/4	0.102
D	3	1	4	1	0.380

$\lambda_{max}=4.010$, C.I.=0.003, C.R.=0.0003

5. Degree of damages

해역	A	B	C	D	평가치
A	1	1/9	1/3	1	0.060
B	9	1	9	9	0.741
C	3	1/9	1	3	0.140
D	1	1/9	1/3	1	0.060

$\lambda_{max}=4.153$, C.I.=0.051, C.R.=0.0567

3. 해역안전성 종합 평가치

연안해역의 항행 안전성 평가를 위하여 대상해역별 종합 평가치를 구한 결과는 <Table 4-5>와 같다.

Table 4-5 Overall evaluation weights and ranking of the navigational safety

해역 \ 항목	[a]	[b]	[c]	[d]	[e]	평가치	순위
A	0.055	0.173	0.203	0.413	0.156	0.188	3
B	0.309	0.263	0.351	0.110	0.060	0.350	1
C	0.059	0.141	0.189	0.408	0.741	0.176	4
D	0.309	0.141	0.351	0.102	0.140	0.285	2

대상해역별 종합 평가치는 목포근해해역이 0.188, 여수 근해해역이 0.350, 거제근해해역이 0.176, 완도근해해역이 0.285로 해역의 안전성이 가장 낮은 순위는 여수근해해역 > 완도근해해역 > 목포근해해역 > 거제근해해역으로 나타났다.

5. 결론

오늘날 우리 나라 연안해역은 해상교통량의 급증과 선박의 대형화, 고속화 추세에 따라 해양사고가 빈발하고 있다. 이러한 해양사고는 결국 인명의 사상, 선박과 화물의 손상, 멸실 및 해양환경오염 등 막대한 인적·물적 피해로 이어지고 있어 연안해역의 해상교통을 적극적으로 관리할 필요가 있다.

최근 전 세계적으로 해상에서의 교통류를 적극적으로 관리하여 해양사고를 미연에 방지하고자 하는 노력이 확산되고 있다.

한편, 우리 나라에서도 해양사고가 빈발하고 있는 연안해역에 대한 안전성을 확보하기 위한 방안의 하나로 연안 VTS의 설치를 검토하고 있다. 그러나 연안 VTS 설치 이전에 그 해역에 대한 안전성을 평가하여 우선 순위를 결정할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 해양사고가 빈발하고 있는 해역으로서 연안 VTS 설치를 검토하고 있는 목포근해해역, 완도근해해역, 여수근해해역, 거제근해해역의 4개 해역에 대하여 안전성을 평가하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 연안해역의 항행 안전성 평가를 위하여 기상·해양조건, 항로조건, 해상교통량, 해양사고 발생건수, 해양사고 발생시 피해의 정도를 평가항목으로 선정하였다. 그리고 각 평가항목을 대표하는 요소로 안개, 해역의 복잡성, 동적 교통량, 해양사고건수, 적재화물의 성질을 추출하였다.

2. ISM법을 이용하여 인간의 직관이나 경험적인 판단에 의한 인식의 애매성 및 모순점을 수정하여 평가항목의 계층구조 모델을 작성하였다.

3. 대상해역의 항행 안전성을 평가한 결과 여수근해해역 > 완도근해해역 > 목포근해해역 > 거제근해해역의 순위로 해역의 안전성이 낮다는 것을 알 수 있었다.

따라서 항행 안전성이 낮은 해역에 대하여 우선적으로 항행보조시설의 설치 등 해상교통안전성을 확보할 수 있는 방안이 수립되어야 할 것이다.

참고문헌

- [1] 해양수산부, 연안선박통항신호(VTS) 설치를 위한 조사연구·기본 및 실시설계 용역보고서, 2000.
- [2] 김종수·윤명오, 해상교통관리론, 세종출판사, 1997.
- [3] 이철영·이석태, 상호관련성을 지닌 계층구조형 문제의 평가 알고리즘, 한국항만학회, 제7권, 1호, 1993.
- [4] 구자윤, 계층분석법에 의한 선박 접이안 안전성의 평가 방안, 한국항해학회지, 제18권, 4호, 1994.
- [5] 이상화·이철영, 우리나라 연안의 해상교통관리 시스템 설치를 위한 기초연구, 한국항해학회지, 제12권, 2호, 1988.
- [6] 木下榮藏, 意思決定論入門, 近代科學社, 1996.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] T.L. Satty & K.P. Kearns, *Analytical Planning*, Pergamon press, 1985.
- [12] W. Yoram & T.L. Satty, Marketing application of AHP, *Management Science* Vol.26, No.27, 1980.
- [13] T.L. Satty, A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structure, *Journal of Mathematical psychology* Vol.15, No.3, 1980.