

순위가중치평균법에 의한 의사결정 결합 및 다기준의사결정 문제로의 적용

† 오세웅* · 박종민** · 양영훈** · 서기열** · 이철영*** · 서상현**

*한국해양대학교 대학원, **한국해양연구원 해양시스템안전연구소, ***한국해양대학교 물류시스템공학과 교수,

Aggregation of Decision Inputs with Ordered Weighted Averaging Operators and Application to the Multiple Criteria Decision Making Problems

† Se-Woong Oh* · Jong-Min Park** · Young-Hoon Yang** · Ki-Yoel Seo** · Cheol-Young
Lee*** · Sang-Hyun Suh**

*Graduate school of Korea Maritime University, Pusan 606-791, Korea

**Maritime and Ocean Engineering Research Institute, KORDI, Daejeon 305-343, Korea

***Division of Logistics Engineering, Korea Maritime University, Pusan 606-791, Korea

요약 : 다기준 의사결정 문제에서 요인간의 가중치 계산과 계산된 요인의 평가값 종합화는 매우 중요하다. 본 연구에서는 다기준 의사결정 문제에 있어서 의사결정자의 의사결정 결합기법과 다기준의사결정 문제로의 적용을 연구하였다. 복잡한 환경에서 의사결정을 할 때 발생하는 모호함을 해결하기 위해 주관적 의견을 결합한 퍼지집합 이론을, 다기준 문제의 요인을 퍼지값으로 계층화하기 위해 계층분석법을 적용하였다. 또한, 의사결정자의 의사결정을 결합하기 위해 순위 가중치평균법을 이용하였다. 순위가 있는 가중치 평균방법은 퍼지집합의 orness 특성을 이용하여 의사결정자의 주관적 의지를 반영할 수 있는 기법으로, 순위가중치평균(OWA) 연산자에 따른 낙관적 혹은 비판적인 정도에 따라 주관적인 의도를 반영할 수 있는 방법이다. 다기준의사결정 문제의 적용사례로서 해상교통안전을 위한 대기정박지의 위치분석 문제를 본 연구에서 제시한 방법에 따라 적용하였다.

핵심용어 : 순위가 있는 가중치결정법, 다기준 의사결정, 해상교통시스템, 대기정박지

Abstract : It's an important part to calculate the weights between criteria and to aggregate the decision inputs in a MCDM(Multi criterion decision making) This paper presents a method for aggregation of decision inputs and application to the MCDM. We incorporate the fuzzy set theory and the basic nature of subjectivity due to ambiguity to achieve a flexible decision approach suitable for uncertain and fuzzy environments. To obtain the scoring that corresponds to the best alternative or the ranking of the alternatives, we need to use a total order for the fuzzy numbers involved in the problem. In this article, we consider a definition of such a total order, which is based on two subjective aspects: the degree of optimism/pessimism reflected with the ordered weighted averaging(OWA) operators. A numerical example, especially location analysis for anchorage area, is given to illustrate the approach.

Key words : OWA, MCDM, Traffic system, Anchorage area

1. 서론

인간의 판단에 있어서 편견과 오류에 관한 연구는 끊임없이 계속되어져 왔다. 특히 심리학자와 사회과학자들에게 큰 관심의 대상이 되어왔고, 현재는 경영학이나 경영정보학에서 연구의 필요성이 증가되어 의사결정 오류를 줄이기 위한 연구가 많은 진척을 보였는데, 그 중 하나로 Saaty가 개발한 AHP(계층 분석법)가 있다. AHP는 여러 장점에도 불구하고, 주로 명확한

의사결정 문제에 사용되거나, 순위는 비교적 정밀하지 못하며, 의사결정자의 주관적 판단이 크며, 설문자의 선호가 AHP 결과에 큰 영향을 미친다는 단점이 있다. 이러한 단점을 해결하기 위해 언어적 데이터의 평가와 모호한 특성을 효율적으로 다루기 위해 퍼지집합 이론에 기반한 근사추론으로 언어적 값이 사용되었고, 근사추론에 사용된 정량적 데이터와 언어적인 표현의 퍼지값을 특성화하는데 정규 삼각퍼지수(normal triangular fuzzy number)가 사용되었다(Tunc Bozburu et al., 2007).

† 교신저자 : 오세웅(정회원), osw@moeri.re.kr, 042)868-7297(016-418-5125)

** 정회원, pjim@moeri.re.kr, 042-868-7259

** 정회원, mmu77@moeri.re.kr, 042-868-7907

** 정회원, vito@moeri.re.kr, 042-868-7505

*** 종신회원, yiici@hhu.ac.kr, 051-410-4331

** 종신회원, shsuh@moeri.re.kr, 042-868-7264

한편, 다기준의사결정 문제에서 대안의 종합화와 의사결정자의 의사전략 결합은 의사 결정에 증대한 영향을 미칠 수 있는 핵심요소라 할 수 있다. Yager는 최대화 연산자와 최소화 연산자 간에 놓여 있는 의사전략을 결합할 수 있는 순위 가중치 평균법(OWA : ordered weighted averaging)을 개발하였다. 순위가중치평균법은 통상적으로 사용되고 있는 단순 가중치합 결합법과는 달리 비선형 결합이 가능한 방법으로 응용모델에 적합한 가중치 벡터를 구성할 수 있기 때문에 유연성이 높으며 가중치 벡터의 조절을 통해 결합된 기준간의 연계관계를 파악할 수 있다. 순위가중치평균법은 의사결정자의 주관적인 의사전략을 효율적으로 결합할 수 있는 기법으로 다양한 의사결정 유형을 제공하고 상호작용적이고 반복적인 문제해결에 유리하다. 본 연구에서는 다기준의사결정 문제에 있어서 의사결정자의 의사전략을 결합하기 위한 기법과 다기준의사결정 문제로의 적용을 연구하였다. 복잡한 환경에서 의사결정을 할 때 발생하는 모호함을 해결하기 위해 주관적 의견을 결합한 퍼지집합 이론과 다기준 문제의 요인을 퍼지값으로 계층화하기 위해 계층분석법을 적용하였다. 또한, 의사결정자의 의사전략을 결합하기 위해 순위 가중치평균법을 이용하였다. 다기준 의사결정 문제로의 적용사례로서 울산항의 대기정박지의 위치 분석 문제를 본 연구에서 제시한 방법에 따라 적용하였다.

2. 퍼지 계층분석법

퍼지 TOPSIS나 퍼지 AHP, 퍼지 아웃랭킹과 같은 퍼지 다기준기법은 모호한 다기준 의사결정문제나 응용사례를 해결할 수 있다. 스케줄링 모델이나 선형계획법, 동적 계획법과 같은 의사결정법과는 달리 퍼지 다기준의사결정법은 다양한 응용분야에서 인정되고 있는 방법론이라 할 수 있다.

Saaty가 개발한 AHP는 복잡한 시스템을 계층적 구조 시스템으로 변환하는 방법으로, 각 계층구조의 요소를 쌍대비교하고 쌍대행렬을 생성하며, 각 기준의 가중치를 파악하거나 각 대안의 점수를 파악하기 위해 고유벡터 값이 계산된다. 쌍대비교의 일관성 검증은 일관성 비율을 사용하여 검증된다. 만약 검증결과가 기준치 보다 낮을 경우, 수정되거나 계산에서 제외된다.

목표, 속성, 대안 간에 계층적 구조를 사용하는 퍼지 AHP는 쌍대 비교법을 이용하여 의사결정자의 기호를 보다 정확하게 판단할 수 있다. 의사결정자는 의사결정 과정에서 복잡함 때문에 올바른 평가를 할 수 없으므로, AHP를 이용하여 일대일 평가를 수행할 수 있다. 퍼지 AHP 분석법 중 개요로서, $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 을 오브젝트 집합, $U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$ 을 목표 집합이라 할 때, Chang(1996)의 연구에 따르면, 각 오브젝트에 대한 m 확장 분석값은 다음과 같이 표현된다.

$$M_{g_i}^1, M_{g_i}^2, \dots, M_{g_i}^m, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

여기서, 모든 $M_{g_i}^j (j = 1, 2, \dots, m)$ 은 파라미터가 a, b, c 인

삼각퍼지수(TFNs : Triangular Fuzzy Numbers)로 구성된다. 삼각퍼지수는 Fig. 1과 같이 가장 낮은 값, 가장 최적의 값, 가장 큰 값으로 구성된다.

Chang(1996)의 퍼지 AHP 확장분석과정은 3단계로 이루어지는데, (단계 1) i 번째 오브젝트에 대한 확장 퍼지계산은 다음과 같이 정의된다.

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1} \quad (2)$$

$\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j$ 값을 계산하기 위해 행렬에 대한 m 확장 분석의 퍼지추가 연산을 수행한다.

$$\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j = \left(\sum_{j=1}^m a_{ij}, \sum_{j=1}^m b_{ij}, \sum_{j=1}^m c_{ij} \right), \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

그리고 $\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1}$ 를 얻기 위해, $M_{g_i}^j (j = 1, 2, \dots, m)$ 의 퍼지추가 연산을 수행한다.

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j = \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m a_{ij}, \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m b_{ij}, \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} \right) \quad (4)$$

위 식의 벡터 역수를 구한다.

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m a_{ij}}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m b_{ij}}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij}} \right) \quad (5)$$

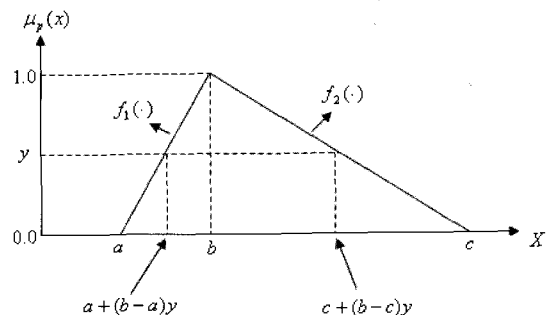


Fig. 1 A triangular fuzzy number, $\tilde{P} = (a, b, c)$

(단계 2) $M_2 = (a_2, b_2, c_2) \geq M_1 = (a_1, b_1, c_1)$ 일 가능성 정도는 다음과 같이 표현된다.

$$V(M_2 \geq M_1) = \text{hgt}(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_2}(d) = \begin{cases} 1, & \text{if } b_2 \geq b_1 \\ 0, & \text{if } a_1 \geq c_2 \\ \frac{a_1 - c_2}{(b_2 - c_2) - (b_1 - a_1)}, & \text{otherwise} \end{cases}$$

여기서 d 는 μ_{M_1} 와 μ_{M_2} 간의 가장 높은 교차점 D 의 y 좌표 값이다.

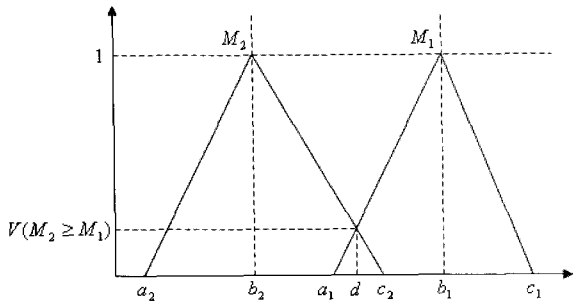


Fig. 2 The intersection between M_1 and M_2

M_1 과 M_2 를 비교하기 위해 $V(M_1 \geq M_2)$ 와 $V(M_2 \geq M_1)$ 값이 필요하다.

(단계 3) 퍼지수가 k 퍼지 수 $M_i(i=1,2,\dots,k)$ 보다 더 클 가능성은 다음과 같다.

$$V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) = V[(M \geq M_1) \text{ and } (M \geq M_2) \text{ and } \dots \text{ and } (M \geq M_k)] = \min V(M \geq M_i), \quad i = 1, 2, 3, \dots, k.$$

$d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k)$ 을 가정하면 $k=1, 2, \dots, n; k \neq i$ 여기서 가중치 벡터는 $W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T$ 라 주어진다.

수학적 연산을 직접 언어적 값으로의 변환은 불가능하므로, 언어적 값의 범위가 퍼지값 범위로 변환된다. 퍼지 AHP에 관한 선행 연구에서는 다양한 퍼지값 범위가 소개되었으며, 본 연구에서는 Table 1의 삼각퍼지수 범위를 평가에 사용하였다.

Table 1 Triangular fuzzy conversion scale

Linguistic scale	Triangular fuzzy scale	Triangular fuzzy reciprocal scale
Just equal	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)
Equally important	(1/2, 1, 3/2)	(2/3, 1, 2)
Weakly more important	(1, 3/2, 2)	(1/2, 2/3, 1)
Strongly more important	(3/2, 2, 5/2)	(2/5, 1/2, 2/3)
Very strongly more important	(2, 5/2, 3)	(1/3, 2/5, 1/2)
Absolutely more important	(5/2, 3, 7/2)	(2/7, 1/3, 2/5)

3. 순위 가중치 방법

3.1 OWA 연산자

Yager는 최대값과 최소값에 이르는 대안의 결과치를 도출하기 위해 순위 가중치평균방법(OWA : Ordered weighted averaging) 연산자를 개발하였다. OWA 연산자는 MAUT (multiattribute utility theory)이나 단순 가중치 합과 같은 기존의 다기준 결합방식과는 달리 고려하는 기준의 비선형적 결합이 가능하다(Jacek Malczewski, 2006).

OWA 기법은 퍼지집합의 orness 개념 즉, 특정 연산자가 얼마나 orlike 한가를 이용하였다. 본 측도는 결합 과정에서 사용되는 가중치의 의미에 따라 의사전략으로 표현된다. 만약 결합된 값이 정렬된 오브젝트의 최대값에 가깝다면, 결합은 orlike

결합이고, 최소값에 가깝다면 andlike 결합이다. 즉, 최대화 결정 원칙은 낙관적인 의사결정이고 최소화 결정 원칙은 비관적인 의사결정이라는 고전적인 의사결정이론과 부합된다.

기준 n 개의 OWA 연산자는 가중치 n 개의 벡터 $W = [w_1, w_2, \dots, w_n]^T$ 로 표현되며, $w_i \in [0, 1], \sum_{i=1}^n w_i = 1$, 여기서 함수 $f(a_1, a_2, \dots, a_n)$ 은 속성값 a_1, a_2, \dots, a_n 가 결합된 값을 나타낸다.

$$f(a_1, a_2, \dots, a_n) = \sum_{i=1}^n w_i b_i \quad (6)$$

여기서 b_i 는 n 개의 결합 오브젝트 a_1, a_2, \dots, a_n 중에서 i 번째 가장 큰 속성값이다. 결과로 다음 조건을 만족한다.

$$\text{Min}_i[a_i] \leq f(a_1, a_2, \dots, a_n) \leq \text{Max}_i[a_i]$$

OWA 연산자의 기초개념은 속성값의 재배열 즉, 기준값 a_i 는 순위 가중치 w_i 과는 관계없고, 속성값 a_1, a_2, \dots, a_n 은 i 지점의 특정값과 관계가 있다. 가중치 벡터 W 에서 가중치 값을 전략에 따라 적절히 배열함으로써 순서에 따른 의사전략을 강조할 수 있다. 만약 가중치를 W 의 상단에 위치할 경우 높은 속성값을 강조할 수 있고, W 의 하단에 위치할 경우 낮은 속성값을 강조할 수 있다. 예를 들어, $W = [0.4, 0.3, 0.2, 0.1]^T$ 이라고 할 때,

$$f(0.7, 1.0, 0.3, 0.6) = (0.4)(1) + (0.3)(0.7) + (0.2)(0.6) + (0.1)(0.3) = 0.76$$

으로 계산된다.

Yager는 아래와 같이 OWA 연산자의 가중치 벡터 W 에 대한 측도를 제시하였다.

$$\text{orness}(W) = \Omega = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (n-i)w_i \quad (7)$$

본 측도는 or과 같은 효과로서 $W = [0.4, 0.3, 0.2, 0.1]^T$ 으로 가정할 때 $\text{orness}(W) = (1/3)(3(0.4) + 2(0.3) + 1(0.2)) = 0.666$ 으로 계산된다. 만약 OWA 연산자의 대표적인 경우를 생각한다면

$$\begin{aligned} W^* &= [1, 0, 0, \dots, 0]^T (\text{maximum operator}) \\ W_* &= [0, 0, 0, \dots, 1]^T (\text{minimum operator}) \\ W_{Ave} &= [1/n, 1/n, 1/n, \dots, 1/n]^T (\text{average operator}) \end{aligned}$$

이를 요약하여 표현하면

- (1) $\text{orness}(W^*) = 1$,
- (2) $\text{orness}(W_*) = 0$,
- (3) $\text{orness}(W_{Ave}) = 0.5$

가중치 벡터 W 를 가지는 OWA 연산자를 위한 andness 측도는 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} \text{andness}(W) &= 1 - \text{orness}(W) \\ &= 1 - \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (n-i)w_i \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} w_1(3/4) &= (1+1/2+1/3+\dots+1/n)/n \\ w_2(3/4) &= (0+1/2+1/3+\dots+1/n)/n \\ &\vdots \\ w_n(3/4) &= (0+0+0+\dots+1/n)/n \end{aligned} \quad (10)$$

3.2 일정한 수준의 결합력을 갖는 함수

안병석(2006)은 연구결과에서 OWA이론과 추론과정을 통해 orness가 1인 W^* , orness가 0.5인 W_{avg} , orness가 0인 W_* 인 대표적 OWA 가중치 함수에 추가로 4개의 일정한 수준의 결합력을 갖는 OWA 가중치 함수를 추가하여 Table 2와 같이 제시하였다. 4개의 가중치 중 $W(3/4)$ 추론과정으로 식(9)가 주어져 있을 때,

$$w_i = \frac{1}{n} \sum_{j=i}^n \frac{1}{j} \quad (9)$$

위 식을 Yager의 OWA 가중치 함수 식(9)에 적용한다면 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{orness}(W) &= \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left((n-i) \frac{1}{n} \sum_{j=i}^n \frac{1}{j} \right) \\ &= \frac{1}{n(n-1)} \left(\sum_{i=1}^n \left(n \cdot \sum_{j=i}^n \frac{1}{j} \right) - \sum_{i=1}^n \left(i \cdot \sum_{j=i}^n \frac{1}{j} \right) \right) \\ &= \frac{1}{n(n-1)} \left(n \sum_{i=1}^n \sum_{j=i}^n \frac{1}{j} - \sum_{i=1}^n \sum_{j=i}^n \frac{i}{j} \right) \\ &= \frac{1}{n(n-1)} \left(n \cdot n - \sum_{i=1}^n \frac{1}{i} \cdot \frac{i(i+1)}{2} \right) \\ &= \frac{1}{n(n-1)} \left(n^2 - \frac{n^2+3n}{4} \right) = \frac{3}{4} \end{aligned}$$

다속성 값 이론(MAVT : multiattribute value theory)에서 orness 3/4의 상수 값을 가지는 OWA 가중치 $W(3/4) = [w_1(3/4), \dots, w_n(3/4)]$ 는 가중치 $w_1 \geq w_2 \geq \dots \geq w_n$ 일 때, 모든 가능한 가중치 조합의 대표인 단일 가중치를 구하는 질량중심 가중치라 할 수 있다. Edwards와 Barron은 $w_1 \geq w_2 \geq \dots \geq w_n$ 이며 모든 속성이 단순 정렬되어 있을 때 무게 중심점을 구할 수 있는 공식을 제안한 바 있다. $w_1(3/4)$ 는 가장 중요한 속성의 가중치이고, $w_2(3/4)$ 는 두 번째로 가장 중요한 속성의 가중치이다. n 개의 속성이 있을 때 식(9)를 이용하여 다음과 같이 식(10)를 도출할 수 있다.

식(10)에 따라 평가요인의 개수에 따라 $W(3/4)$ 의 가중치는 Table 3과 같이 계산되었다.

Table 3 The OWA weights $W(3/4)$ for indicated number of objectives

Rank	Number of objectives									
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	.7500	.6111	.5208	.4567	.4083	.3704	.3397	.3143	.2929	
2	.2500	.2778	.2708	.2567	.2417	.2276	.2147	.2032	.1929	
3		.1111	.1458	.1567	.1583	.1561	.1522	.1477	.1429	
4			.0625	.0900	.1028	.1085	.1106	.1106	.1096	
5				.0400	.0611	.0728	.0793	.0828	.0846	
6					.0278	.0442	.0543	.0606	.0646	
7						.0204	.0335	.0421	.0479	
8							.0156	.0262	.0336	
9								.0123	.0211	
10									.0100	

안병석(2006)이 제안한 일정수준의 가중치 함수를 이용하면 복잡한 계산식 없이 OWA 가중치 함수를 구할 수 있다.

4. 대기 정박지의 위치 평가

울산항은 전국화물 중 37%를 처리하며 처리화물 중 위험화물이 81% 차지한다. 또한 항계 내에서 위험화물의 해상환적 작업이 이루어지는 환경민감 해역으로 울산항의 해양사고를 예방하기 위한 대책수립을 위해 2005년 “울산항 인근해역 해상교통 환경평가 연구 용역”이 수행된 바 있다. 본 연구에서는 제시한 퍼지 AHP법과 순위 가중치평균법을 적용하기 위해 울산항 해상교통환경평가 연구용역의 결과 중의 하나인 대기정박지의 확장안을 분석하고 검토하였다.

4.1 대기정박지 입지특성

울산항 정박지는 동방과제 북쪽에 위치한 M1~M7 정박지,

Table 2 Formulas for specifying weights of OWA operators

의사결정 전략	가중치 함수	orness	OWA 결합
Optimistic	$w_1 = 1, w_j = 0, j \neq 1$	1	b_1
Moderately Optimistic	$w_i = \frac{1}{n} \sum_{j=i}^n \frac{1}{j}$	0.75	$\frac{1}{n} \left(b_1 + \frac{1}{2}(b_1 + b_2) + \dots + \frac{1}{n-1} \sum_{j=2}^n b_j + \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n b_j \right)$
Rather Optimistic	$w_i = \frac{2(n+1-i)}{n(n+1)}$	0.67	$\frac{2}{n(n+1)} \left((n+1) \sum_{j=1}^n b_j - \sum_{j=2}^n j \cdot b_j \right)$
Neutral	$w_i = \frac{1}{n}$	0.5	$\frac{1}{n} \left(\sum_{j=1}^n b_j \right)$
Rather Pessimistic	$w_i = \frac{2i}{n(n+1)}$	0.34	$\frac{2}{n(n+1)} \left(\sum_{j=1}^n j \cdot b_j \right)$
Moderately Pessimistic	$w_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^i \frac{1}{(n-j+1)}$	0.25	$\frac{1}{n} \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n b_j + \frac{1}{n-1} \sum_{j=2}^n b_j + \dots + b_n \right)$
Pessimistic	$w_n = 1, w_j = 0, j \neq n$	0	b_n

해상환적 전용 정박지인 M9, M10 정박지, 제1항로 동쪽에 위치한 E1, E2, E3 정박지가 있다. M1~M7 정박지는 동방과제 안쪽에 위치하여 소형선박들이 주로 이용하며, 정박능력은 5,000톤급 선박 7척이며, M9 정박지는 20,000톤급 1척, M10은 50,000톤급 1척이고, E1은 10,000톤급, E2는 30,000톤급, E3는 150,000톤급 선박의 정박지이다. 연구보고서에서는 울산항의 협소한 M1~M7 정박지를 보완하기 위해 1만 톤급 중소형 선박이 이용할 수 있는 반경 330미터의 정박지 8개의 정박지 신설을 제시하였다. 기존 M1~M7 정박지는 A지점이고 연구 보고서에서 제시한 대기정박지 위치는 C 지점이다. B 지점은 외해에 위치한 E1 정박지로 중소형 선박이 대기하나 이용량은 적다.

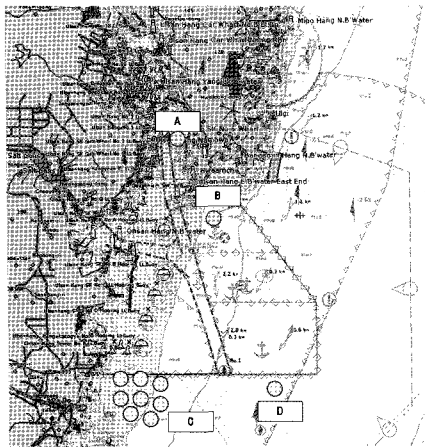


Fig. 3 Sites proposed for a Anchorage area

본 연구에서는 기존 A지점을 포함하여 B지점, C지점, D지점에 대한 대기정박지 입지 평가를 수행하였다.

4.2 대기정박지 입지 평가

본 연구에서는 전문가의 의견과 연구보고서를 토대로 대기정박지 입지평가 요인을 다음과 같이 도출하여 계층모델화 시켰다. 정박지의 위치 선정요인으로 크게 조선요인(SS), 환경요인(EN), 해상교통요인(MT)으로 분류할 수 있으며, 세부적으로 조선요인에는 안전한 정박(SA), 조선의 용이(ES), 환경요인에는 기상해상조건(CM), 저질(GT), 수심(SG), 해상교통요인에는 항로근접성(SL), 교통혼잡도(TC) 요인이 포함된다.

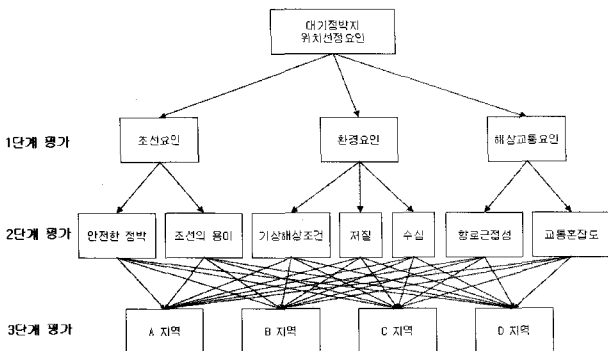


Fig. 4 Hierarchical structure of criteria

상위요인(1단계)과 하위요인(2단계), 입지 후보지(3단계)에 대한 쌍대 비교를 위해 설문지를 작성하여 항해사, 관제사로 구성된 10인의 전문가를 대상으로 설문평가를 수행하였다. 설문 평가의 분석 첫 단계로, 상위요인의 쌍대비교 행렬을 Table 1에 따라 삼각퍼지수로 표시하면 Table 4와 같다.

Table 4 Pair-wise comparisons for main attributes

	SS	EN	MT
SS	(1, 1, 1)	(3/2, 2, 5/2)	(1, 3/2, 2)
EN	(2/5, 1/2, 2/3)	(1, 1, 1)	(2, 5/2, 3)
MT	(1/2, 2/3, 1)	(1/3, 2/5, 1/2)	(1, 1, 1)

상위요인에 대해 식(2), 식(3), 식(4), 식(5)에 따라 확장퍼지계산을 수행하면 다음과 같은 결과를 얻는다.

$$S_{SS} = (3.5, 4.5, 5.5) \otimes (1/12.7, 1/10.6, 1/8.7) = (0.276, 0.426, 0.630)$$

$$S_{EN} = (3.4, 4.0, 4.7) \otimes (1/12.7, 1/10.6, 1/8.7) = (0.268, 0.379, 0.534)$$

$$S_{MT} = (1.8, 2.1, 2.5) \otimes (1/12.7, 1/10.6, 1/8.7) = (0.145, 0.196, 0.286)$$

위 결과 값에 대해 (단계 2)의 가능성 정도는 다음과 같다.

$$V(S_{SS} \geq S_{EN}) = 1, \quad V(S_{SS} \leq S_{EN}) = 0.845$$

$$V(S_{SS} \geq S_{MT}) = 1, \quad V(S_{SS} \leq S_{MT}) = 0.0414$$

$$V(S_{EN} \geq S_{MT}) = 1, \quad V(S_{EN} \leq S_{MT}) = 0.0888$$

각 쌍대비교 과정에서 최소 가능성 정도값은 다음과 같으며,

$$\text{Min } V(S_{SS} \geq S_i) = 1$$

$$\text{Min } V(S_{EN} \geq S_i) = 0.845$$

$$\text{Min } V(S_{MT} \geq S_i) = 0.0414$$

각 값은 $W' = (1, 0.845, 0.0414)^T$ 가중치 벡터로 구성되며, 정규화 과정을 통해 상위 속성의 중요도 가중치는 다음과 같이 계산되었다.

$$W = (d(SS), d(EN), d(MT))^T = (0.5301, 0.4479, 0.0219)$$

위 방법과 동일하게 삼각퍼지수로 표현된 하위요인의 평가값을 확장퍼지계산과 최소 가능성 정도값을 구하면 아래 결과와 같다.

Table 5 Pair-wise comparisons for the sub-attributes of SS

	SA	ES
SA	(1, 1, 1)	(1, 3/2, 2)
ES	(1/2, 2/3, 1)	(1, 1, 1)

Table 6 Pair-wise comparisons for the sub-attributes of EN

	CM	GT	SG
CM	(1, 1, 1)	(1/2, 2/3, 1)	(1/2, 2/3, 1)
GT	(1, 3/2, 2)	(1, 1, 1)	(2, 5/2, 3)
SG	(1, 3/2, 2)	(1/3, 2/5, 1/2)	(1, 1, 1)

Table 7 Pair-wise comparisons for the sub-attributes of MT

	SL	TC
SL	(1, 1, 1)	(2/3, 1, 2)
TC	(1/2, 1, 3/2)	(1, 1, 1)

$$W=(d(SA), d(ES))^T = (0.7522, 0.2478)$$

$$W=(d(CM), d(GT), d(SG))^T = (0.0910, 0.6845, 0.2245)$$

$$W=(d(SL), d(TC))^T = (0.5000, 0.5000)$$

한편, 각 입지후보지에 대해 하위 요인 즉, 안전한 정박, 조건의 용이, 기상해상조건, 저질, 수심, 항로근접성, 교통혼잡도 요인 각각에 대해 A지역, B지역, C지역, D지역 간 우선도를 삼각퍼지수로 설문하여 정리하였다. 아래 Table 8은 안전한 정박 요인에 있어서 각 지점간의 우선도를 나타내고 있다.

Table 8 Pair-wise comparisons for the indicators regarding to the sub-attribute SA

	A지역	B지역	C지역	D지역
A지역	(1, 1, 1)	(2/5,1,2,2/3)	(2/5,1,2,2/3)	(2/5,1,2,2/3)
B지역	(3/2,2,5/2)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1/2,1,3/2)
C지역	(3/2,2,5/2)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1/2,1,3/2)
D지역	(3/2,2,5/2)	(2/3,1,2)	(2/3,1,2)	(1, 1, 1)

위 안전한 정박 요인에 대한 각 지점의 우선도를 위의 절차와 동일하게 계산하면 다음의 결과값을 얻는다.

$$W=(d(A), d(B), d(C), d(D))^T$$

$$=(0.062881, 0.312373, 0.312373, 0.312373)$$

Table 9는 위와 동일한 방법으로 나머지 6개 하위요인에 대한 각 지점의 우선도에 대한 전문가 의견을 정리하여, 삼각퍼지수로 표현된 하위요인의 평가값을 확장퍼지 계산과 최소 가능성 정도값을 계산하여 정리하였다. 퍼지 AHP법을 이용하여 울산항 대기정박지의 입지평가를 수행하였을 때 B지점의 가중치가 가장 높은 것으로 분석되었다.

Table 9 Priority weights of main and sub-attributes, and indicators

	SS	EN			MT			
	0.530110	0.447943			0.021947			
	SA	ES	CM	GT	SG	SL	TC	Weights
	0.752190	0.247810	0.091034	0.684463	0.224504	0.500000	0.500000	
A지점	0.062881	0.052731	0.458085	0.250000	0.421053	0.521376	0.527426	0.181182
B지점	0.312373	0.315756	0.194228	0.250000	0.243789	0.159541	0.277954	0.279024
C지점	0.312373	0.315756	0.148878	0.250000	0.243789	0.159541	0.165084	0.276837
D지점	0.312373	0.315756	0.198809	0.250000	0.091368	0.159541	0.029536	0.282357

퍼지 AHP에 계산된 Table 9의 결과는 중성적(neutral)인 평가값으로 의사결정자의 의사전략이 요인의 평가치에 결합된다면 다양한 결과를 도출할 수 있다. 순위 가중치평균법은 대기정박지 요인의 순서와 상관없이 의사결정자의 전략에 따른 순위 가중치를 결합하는 방법이다. 순위 가중치 값을 결합하기 위해 입지 후보지의 평가값을 비교하여 입지후보지 평가값과 각 지점의 요인가중치 값을 내림차순으로 정렬하였다.

Table 10 Descending array for application of ordering weights

	요인 평가값의 내림차순 정렬						
A지점	0.527426	0.321376	0.458085	0.421053	0.250000	0.062881	0.052731
요인가중치	0.010973	0.010973	0.040778	0.100565	0.306600	0.398744	0.131366
B지점	0.315756	0.312373	0.277954	0.250000	0.243789	0.194228	0.159541
요인가중치	0.131366	0.398744	0.010973	0.306600	0.100565	0.040778	0.010973
C지점	0.315756	0.312373	0.250000	0.243789	0.165084	0.159541	0.148878
요인가중치	0.131366	0.398744	0.306600	0.100565	0.010973	0.010973	0.040778
D지점	0.315756	0.312373	0.250000	0.198809	0.159541	0.091368	0.029536
요인가중치	0.131366	0.398744	0.306600	0.040778	0.010973	0.100565	0.010973

본 연구에서는 안병석(2006)이 제안한 [1, 3/4, 2/3, 1/2, 1/3, 1/4, 0]의 일정한 수준의 순위가중치 값을 계산하기 위해 Table 3의 공식에 따라 Table 11 순위 가중치 값을 계산하였다.

Table 11 OWA weights for indicated number of objectives

	v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	v_6	v_7
1	1	0	0	0	0	0	0
3/4	0.370408	0.227551	0.156122	0.108503	0.072789	0.044218	0.020408
2/3	0.250000	0.214286	0.178571	0.142857	0.107143	0.071429	0.035714
1/2	0.143	0.143	0.143	0.143	0.143	0.143	0.143
1/3	0.035714	0.071429	0.107143	0.142857	0.178571	0.214286	0.250000
1/4	0.020408	0.044218	0.072789	0.108503	0.156122	0.227551	0.370408
0	0	0	0	0	0	0	1

Table 10의 입지후보지 평가값에 Table 11의 순위 가중치 값을 적용하여 Table 12의 최종 결과값을 도출하였다.

Table 12 Evaluation results for anchorage area

	OWA Orness						
	1	3/4	2/3	1/2	1/3	1/4	0
A지점	0.005788	0.017786	0.022308	0.025883	0.029458	0.029563	0.006927
B지점	0.041480	0.054671	0.051810	0.039069	0.028168	0.021171	0.001751
C지점	0.124557	0.056668	0.054787	0.039548	0.024310	0.017523	0.006071
D지점	0.041480	0.057094	0.052762	0.037437	0.022112	0.015297	0.000324

순위 가중치 즉, 사용자의 의사결정 전략이 모험적(orness : 1, 3/4, 2/3)일 경우 C지점이 우수한 것으로 평가되었고, 중성적(orness : 1/2)일 경우 B지점이, 안정적(orness : 1/3, 1/4, 0)

일 경우 A지점이 우수한 것으로 분석되었다.

참 고 문 헌

5. 결 론

본 연구에서는 다기준의사결정 문제에 있어서 의사결정자의 의사전략을 결합하기 위한 기법과 다기준의사결정 문제로의 적용을 연구하였다. 복잡한 환경에서 의사결정을 할 때 발생하는 모호함을 해결하기 위해 주관적 의견을 결합한 퍼지집합 이론을, 다기준 문제의 요인을 퍼지값으로 계층화하기 위해 계층분석법을 적용하였다. 또한, 의사결정자의 의사전략을 결합하기 위해 순위 가중치평균법을 이용하였다. 퍼지 AHP로 평가된 대안의 평가값에 순위 가중치평균법에 의한 의사결정자의 의사전략을 결합할 경우 다른 결과값을 도출할 수 있었다. 즉, 의사결정 전략이 모험적일 경우 “울산항 해상교통환경평가” 연구에서 제시한 C지역이 우수한 것으로 평가되었고, 의사전략이 중성적일 경우 B지점이, 의사전략이 안정적일 경우 현재의 소형선 대기정박지인 A지점이 우수한 것으로 분석되어 대기정박지의 입지분석 문제로의 의사결정 전략 결합법이 유효한 것으로 분석되었다. 향후 연구내용으로 평가요인의 선정, 설문평가의 개선, GIS 그리드 데이터를 이용한 Spatial OWA 기법 적용이 연구되어야 할 것이다.

후 기

본 연구는 국립해양조사원의 “차세대 전자해도 핵심기술개발” 연구와 한국해양연구원의 “네트워크 기반 항만관제 및 항법체계기술 개발” 연구의 지원을 받아 수행되었습니다.

- [1] 안병석(2006), “순위가 있는 가중치 평균방법에서 일정한 수준의 결합력을 갖는 가중치 함수의 성질 및 다기준의사결정 문제의 활용”, 경영정보학연구 16권 1호, pp. 86-101.
- [2] 해양수산부(2005), 울산항 인근해역 해상교통환경평가 연구 용역 보고서
- [3] Makropoulos, C. K.,(2006), “Spatial ordered weighted averaging: incorporating spatially variable attitude towards risk in spatial multi-criteria decision-making”, Environmental modelling & Softw., 21, pp 69-84.
- [4] Chang, D. Y.(1996), “Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP”, European J. of Operational Research, 95, pp. 649-655.
- [5] Tunc Bozbura, F. and Ahmet Beskese(2007), “Prioritization of organizational capital measurement indicators using fuzzy AHP”, Int. J. of Approximate reasoning, 44, pp. 124-147.
- [6] Malczewski, J.(2006), “Ordered weighted averaging with fuzzy quantifiers: GIS-based multicriteria evaluation for land-use suitability analysis”, Int. J. of Applied earth observation and geoinformation, 8, pp 270-277.
- [7] Chang, J. R. (2006), “Dynamic fuzzy OWA model for group multiple criteria decision making”, Soft Comput, 10, pp 543-554.
- [8] Teresa Lamata, M. (2004), “Ranking of Alternatives with Ordered weighted averaging operators”, Int. J. of Intelligent systems, 19, pp. 473-482.

원고접수일 : 2007년 4월 6일

원고채택일 : 2007년 8월 29일