Proceedings of KFIS Spring Conference 2007 Vol. 17, No. 1.

OWA를 이용한 의사전략 결합과 대기정박지 입지분석 문제 적용연구

Aggregation of Decision Inputs with OWA(Ordered Weighted Averaging) Operators and Application to the Location Analysis of Anchorage Area

오세웅[1], 서기열[2], 박종민[3], 서상현[4], 박계각[5]

[1] 부산시 영도구 한국해양대학교 물류시스템공학과 대학원
E-mail: osw@moeri.re.kr
[2] 대전시 유성구 한국해양연구원 해양시스템안전연구소
E-mail: vito@moeri.re.kr
[3] 대전시 유성구 한국해양연구원 해양시스템안전연구소
E-mail: pjm@moeri.re.kr
[4] 대전시 유성구 한국해양연구원 해양시스템안전연구소
E-mail: shsuh@moeri.re.kr
[5] 목포시 죽교동 목포해양대학교
E-mail: gkpark@mmu.ac.kr

요 약

다기준 의사결정 문제에서 요인간의 가중치 계산과 계산된 요인의 평가값 종합화는 매우 중요하다. 본 연구는 다기준 의사결정 문제에 있어서 의사결정자의 의사전략 결합기법을 도출하고 다기준의사결정 문제로 적용하였다. 복잡한 환경에서 의사결정을 할 때 발생되는 모호함을 해결하기 위해 주관적 의견을 결합한 퍼지집합 이론을, 다기준 문제의 요인을 퍼지값으로 계층화하기 위해 계층분석법을 적용하였다. 또한, 의사결정자의 의사전략을 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 비관적인 정도에 따라 주관적인 의도를 반영할 수 있는 방법이다. 다기준의사결정 문제의 적용사례로서 해상교통안전을 위한 대기정박지의 위치분석 문제를 본 연구에서 제시한 방법에 따라 적용하였다.

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

1. 서 론

다기준의사결정 문제에서 대안의 종합화와 의사결정자의 의사전략 결합은 의사 결정에 중대한 영향을 미칠 수 있는 핵심요이다. Yager는 최대화 연산자와 최소화 연산자 간에 놓여있는 의사전략을 결합할 수 있는 순위' 가중치 평균법(OWA : ordered weighted averaging)을 개발하였는데, 본 방법은 단순가중치법과는 달리 비선형 결합이 가능하여, 뉴럴 네트워크, 데이터베이스 시스템, 퍼지로직 컨트롤러, 그룹 의사결정 등 다양한 분야에 사용되고 있다. 또한, 응용모델에 적합한 가중치 벡터를 구성할 수 있어 유연성이 매우 높으며, 가중치 벡터를 조절함으로서 결합된 기준간의 연계관계를 파악할 수 있다.

본 연구에서는 다기준의사결정 문제에서 의사결정자의 의사전략을 결합하기 위한 기법과 다기준의사결정 문제로의 적용에 대해 연구하였다. 의사결정 시 발생되는 모호함을 해결하기 위해 주관의견을 결합한 퍼지지합이론을, 다기준 문제의 요인을 퍼지값으로 계층화하기 위해 계층분석법을 적용하였다. 또한, 의사결정자의 의사전략을 결합하기 위해 순위 가중치평균법을 이용하였다. 다기준의사결정 문제로의 적용사례로 울산항의 대기정박지의 위치분석 문제를 본 연구에서 제시한 방법에 따라 적용하였다.

2. 퍼지 계층분석법

Chang[3]의 연구에 따르면, $X=\{x_1,x_2,\cdots,x_n\}$을 오브젝트 집합, $U=\{u_1,u_2,\cdots u_m\}$을 목표 집합이라 할 때, 각 오브젝트에 대한 m 확장 분석값은 다음과 같이 표현된다.

$$M_{g_i}^1, M_{g_i}^2, \cdots, M_{g_i}^m, \quad i=1,2,\cdots,n \tag{1}$$

여기서, 모든 $M_{g_i}^j(j=1,2,\cdots,m)$은 파라메터가 a,b,c인 삼각퍼지수(TFNs : Triangular Fuzzy Numbers)로 구성된다. Chang[3]의 퍼지 AHP 확장분석과정은 3단계로 이루어지는데,

(단계1) i번째 오브젝트에 대한 확장 퍼지계산은 다음과 같이 정의된다.

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

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

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

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

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

위 식의 벡터 역수를 구한다.

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

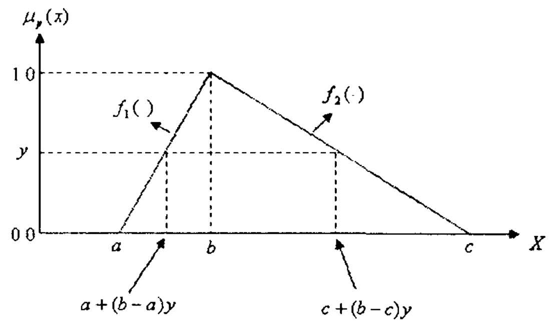

그림 1. A triangular fuzzy numbner, $\tilde{P} = (a,b,c)$

(단계2) $M_2 = (a_2, b_2, c_2) \geq M_1 = (a_1, b_1, c_1)$일 가능성 정도는 다음과 같이 표현된다.

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

여기서 d는 μ_{M_1}와 μ_{M_2} 간의 가장 높은 교차점 D의 y 좌표값이다.

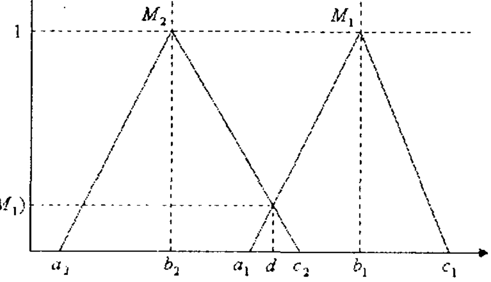

그림 2. The intersection between M_1 and M_2

M_1과 M_2를 비교하기 위해 $V(M_1 \geq M_2)$과 $V(M_2 \geq M_1)$ 값이 필요하다.

(단계3) 퍼지수가 k 퍼지 수 $M_i(i=1,2,\cdots,k)$보다 더 높은 가능성은 다음과 같다.

$V(M \geq M_1, M_2, \cdots, M_k) = V[(M \geq M_1)$and $(M \geq M_2)$and $\cdots$ and$(M \geq M_k)]$
$= \min V(M \geq M_i),\ i = 1,2,3,\cdots,k.$

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

퍼지 AHP에 관한 선행 연구에서는 다양한 퍼지값 범위가 소개되었으며, 본 연구에서는 표 1.의 삼각퍼지수 범위를 평가에 사용하였다.

표 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

Yager는 대안의 결과치를 도출하기 위해 순위 가중치평균방법(OWA : Ordered weighted averaging) 연산자를 개발하였다. OWA 기법은 특정 연산자가 얼마나 orlike 한가를 이용하였다. 결합된 값이 정렬된 오브젝트의 최대값에 가깝다면 orlike 결합이고, 최소값에 가깝다면 andlike 결합이라 할 수 있다. Yager는 아래와 같이 OWA 연산자의 가중치 벡터 W에 대한 측도를 제시하였다.

$$orness(W) = \Omega = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n} (n-i) w_i \qquad (6)$$

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

$W^* = [1, 0, 0, ..., 0]^T (maximum\ operator)$
$W_* = [0, 0, 0, ..., 1]^T (minimum\ operator)$
$W_{Ave} = [1/n, 1/n, 1/n, ..., 1/n]^T (average\ operator)$

이를 요약하여 표현하면

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

안병석[1]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 제시하였다.

4. 대기정박지의 위치분석 문제 적용

본 연구에서는 제시한 기법의 적용을 위해 울산항 해상교통환경평가 연구용역의 결과 중

의 하나인 대기정박지의 확장안을 분석하고 검토하였다.

4.1 대기정박지 입지특성

울산항 정박지는 동방파제 북쪽에 위치한 M 1~M7 정박지, 해상환적 전용 정박지인 M9, M10 정박지, 제1항로 동쪽에 위치한 E1, E2, E3 정박지가 있다.

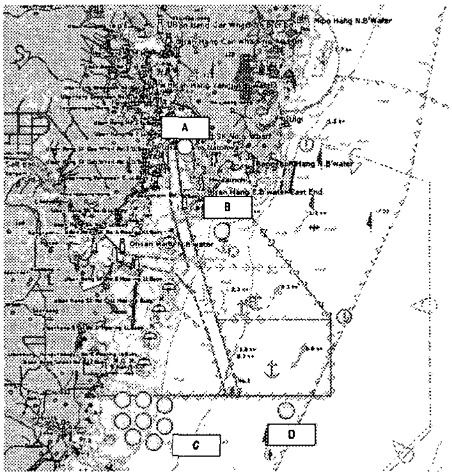

그림 3. Sites proposed for a Anchorage area

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.

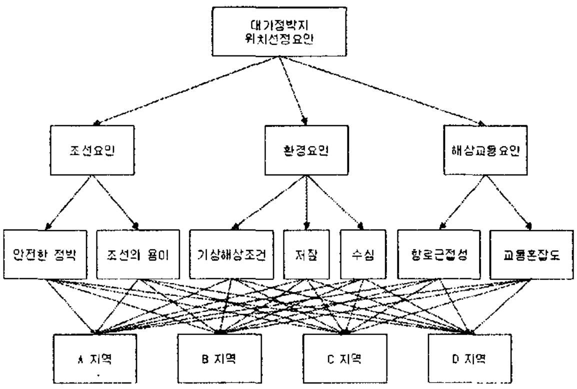

그림 4. Hierarchical structure of criteria

상위요인(1단계)과 하위요인(2단계), 입지후보지(3단계)에 대한 쌍대 비교를 위해 설문지를 작성하여 전문가를 대상으로 설문평가를 수행하였다. 설문 평가의 분석 첫 단계로, 상위요인의 쌍대비교 행렬을 표 1.에 따라 삼각퍼지수로 표시하면 표 2.와 같다.

표 2. 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),(3),(4),(5)에 따라 확장퍼지 계산을 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 정도를 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,

$Min\,V(S_{SS}\geq S_i)\ =\ 1$
$Min\,V(S_{EN}\geq S_i)\ =\ 0.845$
$Min\,V(S_{MT}\geq S_i)\ =\ 0.0414$

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

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

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

$W=(d(SA),\,d(ES))^T\ =\ (0.7522,\ 0.2478)$
$W=(d(CM),d(GT),d(SG))^T=(0.0910,\ 0.6845,\ 0.2245)$
$W=(d(SL),\,d(TC))^T\ =\ (0.5000,\ 0.5000)$

다음으로 하위요인 "안전한정박"에 대해 A지역, B지역, C지역, D지역 간 우선도를 삼각퍼지수로 설문하여 정리하여 위의 절차와 동일하게 계산하면 다음의 결과값을 얻는다.

$W=(d(A),d(B),d(C),d(D))^T$
$=(0.062881,0.312373,0.312373,0.312373)$

표 3.은 위와 동일한 방법으로 나머지 6개 하위요인에 대한 각 지점의 우선도에 대한 전문가 의견을 정리하여, 삼각퍼지수로 표현된 하위요인의 평가값을 확장퍼지 계산과 최소 가능성 정도값을 계산하여 정리한 표이다. 퍼지 AHP법을 이용하여 울산항 대기정박의 입지평가를 수행하였을 때 B지점의 가중치 가장 높은 것으로 분석되었다.

표 3 Priority weights of main and sub-attributes, and indicators

	SS 0.530110		EN 0.447943			MT 0.021947		Weights
	SA 0.752190	ES 0.247810	CM 0.081034	GT 0.684463	SG 0.224504	SL 0.500000	TC 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	0.139541	0.277954	0.279924
C지점	0.312373	0.315756	0.148878	0.250000	0.243789	0.139541	0.165084	0.276837
D지점	0.312373	0.315756	0.198809	0.250000	0.091368	0.139541	0.029536	0.262057

퍼지 AHP에 계산된 표 3.의 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.

표 4 Descending array for application of ordering weights

	요인 평가값의 내림차순 정렬						
A지점	0.527426	0.521376	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	0.139541
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	0.139541	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	0.139541	0.091368	0.029536
요인가중치	0.131366	0.398744	0.306600	0.040778	0.010973	0.100565	0.010973

본 연구에서는 안병석[1]이 제안한 [1, 3/4, 2/3, 1/2, 1/3, 1/4, 0]의 일정한 수준의 순위가중치 값을 계산하기 위해 일정한 수준의 결합력을 갖는 가중치 함수 공식에 따라 순위 가중치 값을 계산하였다.

표 5 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

표 4.의 입지후보지 평가값에 표 5.의 순위 가중치 값을 적용하여 표 6.의 최종 결과값을 도출하였다.

표 6 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	0.026563	0.006827
B지점	0.011480	0.054671	0.051810	0.038889	0.028168	0.021171	0.001751
C지점	0.124557	0.058668	0.054787	0.035548	0.024310	0.017523	0.008071
D지점	0.011480	0.057034	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.

5. 결 론

본 연구에서는 다기준의사결정 문제에 있어서 의사결정자의 의사전략을 결합하기 위한 기법과 다기준의사결정 문제로의 적용을 연구하였다. 복잡한 환경에서 의사결정을 할 때 발생되는 모호함을 해결하기 위해 주관적 의견을 결합한 퍼지 지합 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.

참 고 문 헌

[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] D.Y.Chang(1996), "Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP", European J. of Operational Research, 95, pp. 649-655

[4] F. Tunc Bozbura and Ahmet Beskese(2007), "Prioritization of organizational capital measurement indicators using fuzzy AHP", Int. J. of Approximate reasoning, 44, pp. 124-147.

[5] M. Teresa Lamata(2004), "Ranking of Alternatives with Ordered weighted averaging operators", Int. J. of Intelligent systems, 19. pp. 473-482