

엔트로피 가중치를 고려한 교차종속관계하에서의
효율적인 다기준 의사결정법
**An Effective Multi-Criteria Decision Making
Methodology based on Entropy Weights
in the Intersectional Dependence Relations**

박영화*

Park, Yeong-Hwa

이상완**

Lee, Sang-Wan

Abstract

This paper presents the intersectional dependence relations for the better efficient evaluation of the three tactical missile system(T.M.S) by use of multi-criteria decision making methodology.

T.M.S alternatives A, B and C will be evaluated by Analytic Hierarchy Process(AHP) based on entropy weight in this study. A numerical example is presented to illustrate the use of entropy weight measurement with intersectional dependence problems. This problems are evaluated five criteria : tacticals criteria, technology criteria, maintenance criteria, economy criteria, advancement criteria.

1. 서론

여러 가지 평가기준에 의하여 가장 좋은 대안을 선택하는 것이 다기준 의사결정문제이다. 이 문제에서는 평가기준의 구성과 평가기준간의 상대적 중요도인 가중치를 어떻게 결정하느냐에 따라 의사결정에 중요한 영향을 미치게 된다.

평가기준을 선정함에 있어 가장 중요한 이론적 제한점은 각 평가기준이 상호간에 독립적이어야 한다는 것이다. 현실적으로 평가기준의 독립성을 완전히 확보하기는 매우 어렵다. 그래서 우리가 일반적으로 독립이라고 가정을 하거나 종속성이 강한 평가기준의 도입을 포기함으로써 정확한 평가를 하지 못하는 경우가 발생하게 되며, 때로는 적절한 정보가 부족하거나 보다 정확한 평가를 실시할 필요성이 있을 때는 평가 가능한 모든 평가기준을 도입해야 한다는 어려움이 있다.

이러한 다기준 의사결정의 문제를 해결하기 위한 방법중의 하나가 Saaty[8]가 제안한 계층화 의사결정법(AHP : Analytic Hierarchy Process)으로 이해하기 쉽고 절차가 간단하며 여러 분야에 응용되고 있다. 계층화 의사결정법은 문제를 최종목표, 평가기준, 대안의 순으로 계층구조도를 만들고, 최종목표로부터 평가기준의 가중치를 일대비교(pairwise comparison)에 의해 각 계층별로 순차적으로 구하고 다음에 각 평가기준별 대안의 가중치를 일대비교에 의해 평가하고, 마지막으로 최종목표에 대한 각 대안의 종합평가를 산출하는 방법이다. 그러나 계층화

* 창원전문대학 공업경영과 부교수

** 동아대학교 산업공학과 교수

의사결정법은 의사결정자의 주관적 판단에 따른 감각량의 애매함과 각 대안의 평가기준별 평가치의 합이 1이되어야 한다는 문제, 그리고 각 평가기준사이에 독립성을 유지해야 하는 문제점이 존재한다. 또한 정규화시 의사결정자가 정확한 판단을 하였음에도 불구하고 대안의 추가에 의하여 순위역전(rank reversal)이 발생하는데, 이는 각 대안의 평가치의 합을 1로 정규화하는 비율척도를 사용하기 때문이다. 이를 보완하기 위하여 평가치의 적용에 있어서 비율척도를 구간 척도로 전환하는 것이 Kamenetzky[6]에 의해 제안되었고 실제로 평가치의 최대치를 1로 함으로써 대안의 추가에 의한 순위역전현상의 문제를 극복할 수 있음을 [\[3\]](#)이 보여주고 있다.

이러한 대안의 추가에 의한 순위역전현상과 달리 기존의 평가기준에 종속성(공통성)이 강한 평가기준이 추가될 경우에도 순위역전현상이 나타남을 황승국[4]이 보이고 있다. 이는 종속성이 강한 평가기준이 추가될 경우 이를 가중치를 다시 정규화하여 각 대안을 평가함으로써, 공통성이 있는 부분의 가중치가 이중 또는 다중으로 반영되어 나타난다고 할 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 평가기준 상호간의 종속성의 정도를 파악하여야 하며, 이중 또는 다중으로 반영되는 가중치를 적정하게 배분할 수 있는 방법이 모색되어야 한다. 정택수[1]는 이의 해결방안으로 평가기준 상호간의 종속성을 파악할 수 있는 교차종속관계를 정의하고 이를 활용한 평가기준의 가중치 책정법을 제시하였으며, 이 방법으로부터 얻어진 결과는 평가의 왜곡이 방지되고 있음을 보였다. 또한 상호종속 평가기준의 가중치를 해당 평가기준에 배분할 때 그 방법을 모르는 경우, 퍼지측도인 PI척도와 Bel측도를 응용한 방법론을 제시하고 유효성을 보였다.

따라서 본 연구에서는 판정행렬 X 의 모든 요소에 교차종속관계를 고려하여 수정된 주관적 가중치를 곱하여 얻어진 총판정행렬 A 를 얻고, 각 대안들의 엔트로피 가중치[5]를 계산함으로써 교차종속이 있는 다기준 의사결정문제를 해결할 수 있는 방법을 제안하고 수치예를 통해 그 타당성을 보이고자 한다.

2. 시스템 평가모형의 구조

본 연구에서는 계층구조를 사용하여, 유한수의 대안들중에서 최선의 미사일 시스템을 선택하는 문제를 고려한다[5]. 미사일 시스템의 평가는 수많은 속성에 종속되는데 <그림 1>에 나타낸 전술, 기술, 보전성, 경제성과 진보성이다. 그래서 교차종속하에서의 엔트로피 가중치 방법으로서 나루어질 다기준의사결정문제를 제안한다.

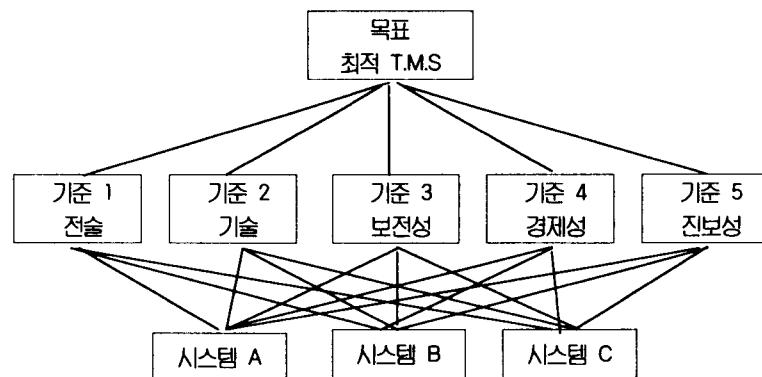


그림1. 3가지 T.M.S 평가의 구조 모형

3. 엔트로피 가중치

학률이론의 항목에서 정식화된 정보에서의 불확실성의 측도인 엔트로피는 처음에 열역학(thermodynamics)으로부터 유도되고, 동작 또는 과정의 비역전(irreversible)을 묘사하기 위해 사용되었다. 이것은 다음과 같은 함수로써 표현된다.

$$H(p_1, p_2, \dots, p_n) = - \sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i \quad (1)$$

여기서, 엔트로피 가중치 계산법을 제시한다.

A 를 관정행렬이라고 하고,

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

$s_k = \sum_{j=1}^n a_{kj} (S_k, k=1,2,\dots,n$ 을 k번째 행의 합), $f_{kj} = a_{kj}/s_k$ (f_{kj} 를 상대빈도)라고 하면,

$$\begin{bmatrix} \frac{a_{11}}{s_1} & \frac{a_{12}}{s_1} & \dots & \frac{a_{1n}}{s_1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{a_{n1}}{s_n} & \frac{a_{n2}}{s_n} & \dots & \frac{a_{nn}}{s_n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & \dots & f_{1n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f_{n1} & f_{n2} & \dots & f_{nn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

엔트로피는 식(1)을 사용하여 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} H_1 &= - \sum_{j=1}^n (f_{1j}) \log_2 (f_{1j}), \\ H_2 &= - \sum_{j=1}^n (f_{2j}) \log_2 (f_{2j}), \\ &\vdots \\ H_n &= - \sum_{j=1}^n (f_{nj}) \log_2 (f_{nj}). \end{aligned} \quad (3)$$

엔트로피 가중치는 식(3)을 정규화(normalizing)함으로써 얻어질 수 있다.

4. 평가기준간의 교차종속관계

평가기준간의 공통 부분이 있는 경우 이 공통 부분이 갖는 성질을 교차종속성이라고 정택수[2]는 정의하고 이를 활용한 평가기준의 가중치 책정법을 제시하였다. 교차종속성은 평가기준 상호간에 영향을 주고받는 종속성과는 구분된다. 교차 평가기준의 가중치 크기는 평가기준 상호간의 공통되는 부분의 크기이며 이의 크기에 따라 해당 평가기준 상호간에 교차종속관계가 성립한다.

교차평가기준에 의한 교차 종속관계를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$d : A \times A \rightarrow [0, 1] \quad (4)$$

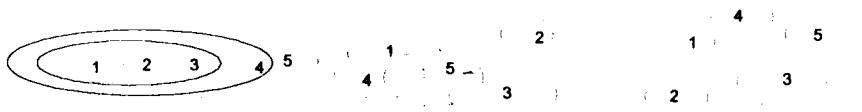
여기서 d_{ij} 의 값은 집합 A내의 모든 평가기준 i, j 에 대해서 2개의 평가기준 사이의 교차종속성의 정도를 나타내며 평가기준 i 는 평가기준 j 에 대하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{완전종속} : d_{ij} = 1, \quad w_j \geq w_i \quad (5)$$

$$\text{부분종속} : 0 < d_{ij} < 1, \quad w_j \geq w_i \quad (6)$$

$$\text{완전독립} : d_{ij}=0, \quad \forall i, j \in A \quad (7)$$

식 (5),(6),(7)을 그림으로 나타내면 <그림2>와 같다.[2]



(a) 완전종속

(b) 부분종속

(c) 완전독립

그림2. 평가기준 상호간의 관계

또한 이들의 관계를 행렬로 나타내면 <그림3>과 같다.

	A_1	A_2	.....	A_n
A_1	1	0	.....	0
A_2	0	1	.....	0
.	0	0	.....	0
.	⋮	⋮	⋮	⋮
A_n	0	0	.....	1

(a) 독립인 경우

	A_1	A_2	.....	A_n
A_1	1	a_{12}	.....	a_{1n}
A_2	a_{21}	1	.....	a_{2n}
.	a_{31}	a_{32}	.....	a_{3n}
.	⋮	⋮	⋮	⋮
A_n	a_{n1}	a_{n2}	.....	a_{nn}

(b) 종속인 경우

그림3. 요소 상호간의 관계행렬

교차평가기준의 가중치 크기 w_{ij} ($0 \leq w_{ij} \leq w_i$, $\forall i, j \in A$)는 식(8)로 구할 수 있다.

$$w_{ij} = d_{ij} \times w_i \quad (8)$$

이러한 교차종속관계는 n 차원 공간 (A^n)까지 정의 가능하다. 즉 $d : A^n \rightarrow [0,1]$ 의 표현 가능하고, 평가기준 상호간에 교차되는 회수가 많을 경우에는 순차적으로 구해야 하므로 이를 이용한 교차 종속기준의 가중치 계산 및 평가절차를 다음과 같이 기술한다.

의사결정자에게 “평가기준 i 가 평가기준 j 와 어느정도 공통성이 있는가”를 질문하고, 그 답에 따라 평가기준 상호간의 종속의 정도인 교차종속관계 d_{ij} 를 <그림 4>와 같이 구한다. (8)식을 적용하여 1회 교차된 평가기준의 가중치 행렬 $[w_{ij}]_{n \times n}$ 을 구한다.

$$\begin{array}{cccc} & 1 & 2 & \dots & n \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ \vdots \\ n \end{matrix} & \left[\begin{array}{cccc} d_{11} & d_{12} & \dots & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & \dots & d_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ d_{n1} & d_{n2} & \dots & d_{nn} \end{array} \right] \end{array}$$

그림4. 일대비교에 의한 교차종속관계의 행렬

이때 얻어진 교차 종속기준의 가중치는 현실적으로 w_i 와 w_j 의 크기에 따라 d_{ij} 와 d_{ji} 의 측정값에 의한 교차 평가기준의 가중치가 $w_{ij} = w_{ji}$ 로 정확하게 일치하기가 어렵다. 따라서 측정값이 다르게 나올 경우 정의에 의한 제약의 범위내 ($d \in [0, 1]$)에서 평균치를 구하는 방법을 사용하여 다음과 같이 구한다[2].

$$(w'_{ij} + w'_{ji})/2 = w_{ij} = w_{ji} \quad (9)$$

단, w'_{ij}, w'_{ji} 는 식(8)에 의해 구해진 값임.

앞에서 얻어진 1회 교차평가기준의 가중치 행렬을 검토하여, 대각선 원소를 제외한 나머지 행 또는 열의 원소가 모두 0($w_{ij} = 0, \forall j \neq i \in A$)으로 나타나는 평가기준 i 의 새로운 가중치 w_i 는 여타 평가기준과 완전 독립이므로 선별해내고, 이미 책정된 가중치를 식(10)과 같이 그대로 부여한다.

$$w = w_{ii} = w_i, w_{ij} = 0, \forall j \neq i \in A \quad (10)$$

만약 모든 평가기준이 상호간에 완전독립이면 평가기준의 가중치 합을 1로 정규화하고 중단 한다. 다음 단계에서는 $w_{ij} \neq 0$ 인 1회 교차 평가기준 $i \cap j$ 를 선별하여 이들 각각과 1회 교차 평가기준 $i \cap j$ 가 여타 평가기준 k 와 얼마나 종속되어 있나를 묻고, 그답을 받아서 3변수 함수인 2회 교차 종속관계 d_{ijk} 를 구하고, 식(11)에 의해 2회 교차 평가기준 $i \cap j \cap k$ 의 가중치 w_{ijk} ($0 \leq w_{ijk} \leq w_{ij}$, $\forall i, j, k \in A, i \neq j \neq k$)를 구한다.

$$w_{ijk} = d_{ijk} \times w_{ij} \quad (11)$$

교차 종속관계의 측정값에 의한 2회교차 평가기준의 가중치 값이 서로 상이할 경우에는 ($w_{ijk} \neq w_{ikj} \neq w_{kji}$) 앞에서와 마찬가지로 제약의 범위내 ($d \in [0, 1]$)에서 평균치를 구하는 방법을 사용한다. 이러한 방법은 3회 및 다회교차 평가기준에도 동일하게 적용된다.

$$(w_{ijk} + w_{ikj} + w_{kji}) / 3 = w_{ijk} = w_{ikj} = w_{kji} \quad (12)$$

단 $w_{ijk}, w_{ikj}, w_{kji}$ 의 값은 식(11)에 의해 구해진 것임

같은 방법으로 독립성을 검토하여, 3회 및 다회교차 평가기준의 가중치를 교차 종속관계가 없을 때까지 계속 구한다. 극단적일 경우, 직적 $A \times A \times A \times \dots \times A (A^n)$ 에서의 n변수 함수인 n-1회교차 종속관계 $d_{12\dots n}$ 에 의한 n-1회 교차 평가기준 $1 \cap 2 \cap \dots \cap n$ 의 가중치 $w_{12\dots n}$ 는 다음의 식에 의해 구한다.

$$w_{12\dots n} = d_{12\dots n} \times w_{12\dots n-1} \quad (13)$$

교차 종속관계에 의한 가중치의 측정값이 서로 상이할 경우에는 제약의 범위내 ($d \leq 1$)에서 다음의 식에 의해 평균치를 구한다.

$$(w_{12\dots n} + w_{123\dots n-1} + w_{23\dots 1}) / n = w_{123\dots n} \quad (14)$$

앞의 절차에서 구해진 독립 또는 교차된 평가기준의 가중치를 교차회수의 순서대로 각 평가기준을 배열한다. 교차 평가기준의 가중치를 배분하는 방법으로서는 해당 평가기준에 각각 동일한 값으로 배분하는 방법, 최초의 가중치 크기에 의한 비율배분방법도 있을 수 있으며, 아예 잘 모르므로 퍼지측도(fuzzy measure) [4]를 이용한 평가도 할 수 있을 것이다. 본 연구에서는

논의를 단순화 시키기 위해 가장 간단한 방식인 각각의 평가기준에 동일한 값으로 다음과 같은 합집합 및 교집합의 연산식을 기초하여 배분하는 방법을 채택한다[1].

$$w_1 \cup w_2 \cup \dots \cup w_n = \sum_i (w_i) - \sum_{i,j} (w_i \cap w_j) + \dots + (-1)^{n-1} (w_1 \cap w_2 \cap \dots \cap w_n) \quad (15)$$

5. 알고리즘

의사결정문제를 해결하기 위해 엔트로피 가중치를 사용한다. 수행도 점수의 비교를 실시한 후, 전문가의 의견에 따라 가중치와 교차종속관계를 구하고, 교차평가기준의 가중치를 계산하여 이를 해당 평가기준에 동일한 크기로 배분한 다음 엔트로피 가중치를 사용하여 각 대안에 대한 평가를 실시한다. 이 의사결정 방법론 계산절차를 요약하면 다음과 같다.

Step 1. 수행도 점수를 계산한다 (판정벡터 또는 행렬 X).

Step 2. 교차종속을 고려한 가중치 계산한다 (W).

Step 3. 판정행렬 X 의 대응대는 열 (모든 기준 C_i 에서 판정벡터 x_{i1} 의 순서목록)로 가중치 벡터 W 를 곱하여 총 판정행렬 A 를 식(16)과 같이 얻을 수 있다.

$$A = \begin{bmatrix} w_1 \times x_{11} & w_2 \times x_{12} & \cdots & w_n \times x_{1n} \\ w_1 \times x_{21} & w_2 \times x_{22} & \cdots & w_n \times x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_1 \times x_{n1} & w_2 \times x_{n2} & \cdots & w_n \times x_{nn} \end{bmatrix} \quad (16)$$

Step 4. 엔트로피는 식(2)의 상대빈도와 식(3)의 엔트로피 정식을 이용하여 우선 계산될 수 있다. 결과적으로 생기는 엔트로피 가중치는 식(3)을 정규화함으로써 얻을 수 있다.

6. 수치예

이 절에서는 3개의 전술미사일 시스템(T.M.S)의 대안 A, B, C가 엔트로피 가중치를 기초로 한 AHP에 의해 평가될 것이다. 이 3 미사일 시스템의 전문가의 의견과 전술적 명세 자료가 의사결정과정을 위해 <표 1>과 <표 2>에 나타나 있다 [5].

표 1. 3 T.M.S 시스템의 특성과 전문가의 의견

평가항목	A	B	C
1 운영필요조건	높음	보통	보통
2 안전성	좋음	보통	보통
3 차폐	보통	좋음	보통
4 단순성	보통	보통	보통
5 조립성	보통	보통	나쁨
6 전투능력	좋음	보통	보통
7 물질적인 제한	높음	보통	높음
8 이동성	나쁨	좋음	보통
9 모듈화	보통	좋음	보통
10 표준화	보통	보통	좋음

표2. 3 T.M.S 시스템의 전술적 명세 자료

평가항목	A	B	C
1 유효거리 (km)	43	36	38
2 비행고도 (m)	25	20	23
3 비행속도 (M. No)	0.72	0.8	0.75
4 폭발률 (round/min)	0.6	0.6	0.7
5 반응시간 (min)	1.2	1.5	1.3
6 미사일 크기 (com)(1×d-span)	521×35-135	381×34-105	445×35-120
7 폭파 정밀도 (%)	67	70	63
8 파괴율 (%)	84	88	86
9 살상반경 (m)	15	12	18
10 고장방지 (%)	68	75	70
11 신뢰성 (%)	80	83	76
12 시스템 비용 (10000)	800	755	785
13 시스템 수명 (년)	7	5	5

<그림1>에 이 미사일 시스템의 평가모형이 나타나있다. 이 평가는 전술(tactics), 기술(technology), 보전성(maintenance), 경제성(economy)과 진보성(advancement)의 5가지 기준을 기초로 한다.

전술적 고려사항은 유효거리, 비행고도, 비행속도, 신뢰성, 폭발정밀도, 파괴율, 살상반경을 포함한다. 만약 유효거리가 40km보다 멀고, 비행고도가 20m보다 작고, 비행속도가 마하 0.8보다 크고, 신뢰성이 80%이상, 폭발정밀도 65%이상, 파괴율 85%이상, 살상반경 15m이상이면 이 항목에 상응되는 점수는 1이다. 그렇치않으면 점수는 0.5이다. <표3>에 전술적 고려사항의 총 점수가 나타나 있다:

표3. 3 T.M.S의 전술적 평가기준과 점수

전술 평가기준	A	B	C
유효거리	1	0.5	0.5
비행고도	0.5	1	0.5
비행속도	0.5	1	0.5
신뢰성	1	1	0.5
폭발정밀도	1	1	0.5
파괴율	0.5	1	1
살상반경	1	0.5	1
총 점 수	5.5	6	4.5

위와 같은 방법으로 산정한 기술, 보전성, 경제성, 진보성에 대한 평가기준별 점수는 <표4~표7>에 나타내었다.

표4. 3 T.M.S의 기술적 평가기준과 점수

기술 평가기준	A	B	C
미사일 크기	0.5	1	0.5
반응시간	0.5	0.5	0.5
폭발률	0.5	1	1
고장방지	0.5	1	1
전투능력	1	0.5	0.5
총 점수	3	4	3.5

표5. 3 T.M.S의 보전 평가기준과 점수

보전 평가기준	A	B	C
운용필요조건	1	0.5	0.5
안전성	1	0.5	0.5
차폐성	0.5	1	0.5
단순성	0.5	0.5	0.5
조립성	0.5	0.5	0
총 점수	3.5	3	2

표6. 3 T.M.S의 경제성 평가기준과 점수

경제성 평가기준	A	B	C
시스템 비용	0.5	1	0.5
시스템 수명	1	0.5	0.5
물질적 세한	0.5	1	0.5
총 점수	2	2.5	1.5

표7. 3 T.M.S의 진보성 평가기준과 점수

진보성 평가기준	A	B	C
모듈화	0.5	1	0.5
이동성	0	1	0.5
시스템 표준화	0.5	0.5	1
총 점수	1	2.5	2

만약 이 기준들의 우선순위(priority)가 전문가의 의견에 따라 전술, 기술, 보전, 경제성과 진보성의 순이라면, 이 기준들간의 가중치 벡터(weighting vector)를 구한다.

$$W = \begin{bmatrix} C_1 & C_2 & C_3 & C_4 & C_5 \\ 9 & 3 & 1 & 5 & 7 \end{bmatrix} \quad (17)$$

<표3~7>을 결합하므로서 <표8>과 같이 판정행렬 X 를 얻을수 있다.

표8. 기준 C_1, C_2, C_3, C_4, C_5 을 기초로한 시스템 A, B, C 를 위한 판정행렬 X

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5
A	5.5	3	3.5	2	1
B	6	4	3	2.5	2.5
C	4.5	3.5	2	1.5	2

여기서, <그림 2의 (b)>와 같이 평가기준 C_1, C_2, C_3 는 상호독립이고, 평가기준 C_4 는 C_1, C_5 에 C_5 는 C_1, C_3 에 부분종속이라고 가정한다.

또, 1회교차종속관계를 조사한 결과는 다음과 같다.

$$d_{ij} = \begin{bmatrix} C_1 & C_2 & C_3 & C_4 & C_5 \\ C_1 & 1 & 0 & 0 & 0.3 & 0.24 \\ C_2 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ C_3 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0.23 \\ C_4 & 0.4 & 0 & 0 & 1 & 0.1 \\ C_5 & 0.42 & 0 & 0.2 & 0.12 & 1 \end{bmatrix} \quad (18)$$

2회 교차종속관계는

$3 \cap 5$	3 5	$3 \cap 4$	1 4	$1 \cap 3$
$1 \cap 4$	0 0.27	$1 \cap 5$	0 0.28	$3 \cap 5$

(2.55) (2.73) (0.905) (0.77) (19)

()안은 가중치

교차종속관계의 조사결과를 이용하여 1회 교차 평가기준의 가중치를 계산하면

$$w_{14}' = d_{14} \times w_4 = 0.3 \times 5 = 1.5$$

$$w_{41}' = d_{41} \times w_1 = 0.4 \times 9 = 0.4 \times 9 = 3.6$$

$$\therefore w_{14} = (1.5 + 3.6) / 2 = 2.55 \quad (20)$$

식(20)과 동일한 방법으로 계산하면

$$w_{15} = (1.68 + 3.78)/2 = 2.73, \quad w_{35} = ([1.61 + 0.2]/2) = 0.905 \\ w_{45} = (0.7 + 0.6)/2 = 0.65$$

2회교차 평가기준의 가중치를 계산하면

$$w_{145}' = 2.55 \times 0.27 = 0.6885, \quad w_{154}' = 2.73 \times 0.28 = 0.7644 \\ w_{451}' = 0.65 \times 1 = 0.65 \\ \therefore w_{145} = w_{154} = w_{451} = (0.6885 + 0.7644 + 0.65)/3 = 0.7010 \quad (21)$$

교차종속관계를 고려한 평가기준의 새로운 가중치를 계산하면

$$w_1' = w_{145}/3 + (w_{14} - w_{145})/2 + (w_{15} - w_{145})/2 + \{w_1 - (w_{14} - w_{145}) - (w_{15} - w_{145}) - w_{145}\} \\ = 6.5937 \quad (22) \\ w_2' = w_2 = 3, \quad w_3' = 0.5475, \\ w_4' = 3.6337, \quad w_5' = 5.0912$$

그러므로 새로운 가중치는

$$w = [w_1' \ w_2' \ w_3' \ w_4' \ w_5'] = [6.5937, 3, 0.5475, 3.6337, 5.0912] \text{ 이고,}$$

이 가중치들을 정규화 하면

$$w = [0.3495, 0.1590, 0.0290, 0.1926, 0.2699] \text{ 이다.}$$

이 새로운 가중치의 i 번째 요소를 <표 8>의 C_i 열에 합으로써, 총판정행렬 A를 식(23)과 같이 얻을 수 있다.

$$\begin{array}{ccccc} C_1 & C_2 & C_3 & C_4 & C_5 \\ \hline A & 0.3495 \times 5.5 & 0.1590 \times 3 & 0.0290 \times 3.5 & 0.1926 \times 2 & 0.2699 \times 1 \\ B & 0.3495 \times 6 & 0.1590 \times 4 & 0.0290 \times 3 & 0.1926 \times 2.5 & 0.2699 \times 2.5 \\ C & 0.3495 \times 4.5 & 0.1590 \times 3.5 & 0.0290 \times 2 & 0.1926 \times 1.5 & 0.2699 \times 2 \end{array} \quad (23)$$

마지막으로 판정행렬 A의 상대빈도는 식(23)의 값을 식(2)에 의해 식(24)로 표시되고, 식(3)에 의해서 엔트로피를 구하고, 이를 정규화하여 얻은 엔트로피 가중치들은 <표 9>와 같다.

$$\begin{bmatrix} 1.9223 & 0.4770 & 0.1016 & 0.3852 & 0.2699 \\ 3.1559 & 3.1559 & 3.1559 & 3.1559 & 3.1559 \\ 2.0970 & 0.6361 & 0.0871 & 0.4815 & 0.6746 \\ 3.9763 & 3.9763 & 3.9763 & 3.9763 & 3.9763 \\ 1.5727 & 0.5566 & 0.0580 & 0.2889 & 0.5397 \\ 3.0160 & 3.0160 & 3.0160 & 3.0160 & 3.0160 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.6091 & 0.1512 & 0.0322 & 0.1221 & 0.0855 \\ 0.5274 & 0.1600 & 0.0219 & 0.1211 & 0.1697 \\ 0.5215 & 0.1845 & 0.0192 & 0.0958 & 0.1790 \end{bmatrix} \quad (24)$$

표9. 엔트로피 와 정규화된 엔트로피 가중치

	엔트로피	엔트로피 가중치
A	1.68099	0.31524
B	1.83365	0.34385
C	1.81780	0.34090

<표 9>로 부터 시스템 B가 엔트로피 가중치 0.34385으로 최상의 선택임을 알 수 있다.

7. 결론

전통적인 AHP 방법에서 각 평가기준의 상호독립성의 가정은 종속성이 강한 평가기준의 도입을 포기하거나, 좀 더 정밀한 평가를 위해 모든 고려사항을 도입할 때, 종속성이 강한 평가기준의 도입시 순위역전현상이 발생할 수 있다. 본 연구에서는 교차종속관계를 고려한 수정된 가중치를 계산하고, 좀더 효율적인 의사결정을 위해 AHP방법을 향상시키고 매끄럽게 하기 위하여 계층적인 구조를 가지면서, 전통적인 AHP방법에서 요구되는 일련의 일대비교판정 대신 엔트로피 가중치를 기초로한 의사결정방법을 제시하였다.

참고문헌

- [1] 정규련, 정택수, “퍼지교차 종속관계를 이용한 다기준평가문제의 가중치 책정방법”, 한국경영과학회지, 제19권, 제3호, pp.53-62, 1994.
- [2] 정택수, “교차종속관계 하에서의 효율적인 다기준 평가법”, 숭실대학교 대학원 박사학위논문, 1995.
- [3] 中山弘隆, “多目的意思決定-理論と應用-1-多目的意思決定とAHP-”, システムと制御, Vol. 30, No7, pp.430-438, 1986.
- [4] 黃承國, “ファシィ理論の評價問題への應用”, 大阪府立大學 大學院 博士學位論文, 1990.
- [5] Mon, D.L., "Evaluating weapon system using fuzzy analytic hierarchy process based on entropy weight", Proceedings of the International Joint Conference of the Fourth IEEE International Conference on Fuzzy Systems and the Second International Fuzzy Engineering Symposium ,Vol.2, Yokohama, Japan, pp.591-598, March,1995.
- [6] Kamenetzky, R.D., "The relationship between the AHP and additive value function", Decision Science 13, pp.702-713, 1982.
- [7] Saaty, T.L., "Measuring the fuzziness of sets", Journal of Cybernetics,4, pp.53-61, 1974
- [8] Saaty, T.L., "The analytic hierarchy process", McGraw-Hill, New York, 1980.
- [9] Saaty, T.L., "Axiomatic foundation of the analytic hierarchy process", Management Science, Vol.32, No.7, pp.841-855, July,1986.
- [10] Saaty, T.L. and Vargas L.G., "Uncertainty and rank order in the analytic hierarchy process", European Journal of Operational Research 32, pp.107-117, 1987.