韓國水資源學會論文集
第46卷 第2號·2013年 2月
pp. 171~182

J. KOREA WATER RESOURCES ASSOCIATION
Vol. 46, No. 2:171-182, February 2013
http://dx.doi.org/10.3741/JKWRA.2013.46.2.171
pISSN 1226-6280 • eISSN 2287-6138

FAHP 기법에 의한 농업용저수지의 추가저수량 확보사업 우선순위 결정

Prioritization for Water Storage Increase of Agricultural Reservoir using FAHP Method

최 은 혁* / 배 상 수** / 지 홍 기***

Choi, Eun Hyuk / Bae, Sang Soo / Jee, Hong Kee

Abstract

This paper presents the application of fuzzy set theory in multi criteria decision making (MCDM). FAHP (Fuzzy Analytic Hierarchy Process) method was used to rank alternatives to find the most reasonable and efficient way of agricultural reservoir water resources assessment. 6 criteria and 10 subcriteria had been identified and compared to secure agricultural water resources. Fuzzy numbers and linguistic variables were presented to address inherently uncertain or imprecise data. Comparison analysis of decision making method was also carried out to find a way of suitable decision making and validity of FAHP was discussed.

Keywords : Fuzzy AHP, Fuzzy Set Theory, MCDM

요 지

본 논문은 퍼지집합이론을 이용한 다기준 의사결정(MCDM) 과정에 관한 연구이며, 농업용 저수지의 수자원계획 평가에 관한 가장 합리적이고 효율적인 방법을 찾기 위해 FAHP를 이용하여 각각의 대안들에 대한 우선순위를 정하였다. 농업용 저수지의 추가저수량 확보를 위해 의사결정자 및 수혜자가 동시에 만족하는 조건을 조사하여 6개의 주 기준을 설정하고 이에 따른 10개의 대안을 설정하여 우선순위를 결정하고자 하였으며, 우선순위를 결정에서의 불확실성과 모호성을 규명하기 위해 퍼지수와 언어변수를 정의하였다. 또한 적절한 의사결정모형의 제시를 위해 의사결정 방법에 따른 분석결과를 비교·검토하였으며 FAHP 기법 적용의 타당성을 논의하였다.

핵심용어 : 계층분석과정, 퍼지집합이론, 다기준의사결정

1. 서 론

의사결정은 의사결정자가 속한 환경과 원하는 해의 종류, 의사결정결자의 사용목적 등에 따라 다양한 형태로 구분된다. 그리고 현대의 복잡한 사회 및 산업구조를 고려하는 의사결정문제는 다수의 대안과 다양한 속성, 대안의 서로 다른 목표와 속성의 서로 다른 평가기준 등 상호 비교관계 및 상충관계에 의해서 구성된다. 특히 다수의 속성과 다수의 목적을 고려한 의사결정을 다기준 의사결정(Multi Criteria Decision Making : MCDM)이라고 한

* 교신저자, 한국농어촌공사 기술본부・영남대학교 건설시스템공학과 박사과정 (e-mail: ehchoe@ekr.or.kr, Tel: 042-479-8262)
Corresponding Author, Korea Rural Community Corporation, Ph.D. Student, Department of Civil Engrg., Yeungnam Univ., Daejeon 302-859, Korea
** 한국농어촌공사 기술본부 공학박사 (e-mail: ssbae@ekr.or.kr)
Korea Rural Community Corporation., Ph.D. Daejeon 302-859, Korea
*** 영남대학교 건설시스템공학과 교수 (e-mail: hkjee@yu.ac.kr)
Pfor. of Civil Engrg., Yeungnam Univ., Gyeongsan, Gyeongbuk 712-749, Korea

다(Hwang and Yoon, 1981; Olson, 1996; Zeleny, 1982).

다기준 의사결정문제를 해결하기 위해서 Satty (1977)는 의사결정과정을 계층화 하고 평가기준에 따른 대안들의 상대적인 중요도와 각 평가기준들 간의 상대적인 중요도를 쌍대비교(Pairwise Comparison)하여 각각의 대안들에 대한 가중치를 결정하는 AHP (Analytic Hierarchy Process) 기법을 제안하였다. 반면 AHP를 이용한 의사결정과정에서 평가자들에 의한 쌍대비교 과정은 인간의 언어표현 혹은 사고의 과정에서 발생하는 모호성 또는 불확실성을 수반하게 되는데, 이러한 수학적으로 정의하기 힘든 모호한 자료들을 규명하기 위해 Zadeh (1965)는 퍼지집합(Fuzzy Set), 멤버십함수(Membership Function) 및 퍼지넘버(Fuzzy Number)를 이용하여 불확실성을 내포한 정성적인 데이터의 퍼지합산(Fuzzy Integrals)과정을 통해 정량화하여 표현하고자 하였다. 현재까지 퍼지이론은 실제문제에서 발생하는 모호성과 불확실성을 해결하기 위해 의사결정과정 뿐만 아니라 의학, 공학, 경제학 등 다양한 분야에 응용되고 있다.

농업용 저수지의 수자원계획 평가를 위해서는 공급자와 수요자의 다양한 요구를 충분히 반영하여 최종의 목표를 설정하고, 그에 따른 다수의 대안과 속성을 동시에 고려해서 최선의 대안을 선택해야 한다. 그러나 기존의 의사결정시스템은 매우 제한적·가변적이며, 농업용 수자원의 공급체계가 관개용수 중심에서 생활용수, 공업용수, 환경용수 등 과거와는 다른 형태의 용수수요가 발생하고 있는 바 수자원계획수립의 불확실성은 점차 높아지고 있다.

본 연구에서는 농업용 저수지의 수자원계획 평가항목에 대한 가중치 및 우선순위를 결정하기 위해 요인들 간의 현실적 인과관계를 고려하여 최종 대안을 선정하는 방법론인 FAHP (Fuzzy Analytic Hierarchy Process) 기법을 적용하여 인간의 언어적 표현에서 나타나는 모호성과 애매함에 대한 불확실성을 체계적으로 정량화 및 모형화하여 추론하고자 하였으며, Chang (1996)이 제안한 퍼지결합도(Fuzzy Synthetic Extent)를 이용하여 인간의 판단에 대한 평가시의 불확실성을 보완하여 보다 현실적인 의사결정과정을 제시하고자 한다.

2. 의사결정기법의 기본 이론

2.1 AHP 기법(AHP Method)

Saaty (1977)가 제안한 계층적 의사결정방법인 AHP는 인간의 사고과정이 단계적, 위계적 분석과정을 거친다는 가정을 토대로 의사결정의 평가기준 및 평가대안이 다수이며 복합적인 경우, 각각의 기준과 대안들의 가중치를 산정하고 그에 따른 우선순위 산정을 통해 체계적인 평가를 지원하는 의사결정 기법이다. 즉 의사결정 목표, 기준 및 대안들의 계층구조를 설정하고 상위 기준을 고려한 하위기준 또는 대안의 가중치를 측정하는 방법을 통해 정성적요소를 포함하는 다기준 의사결정에 널리 사용되고 있다.

Saaty (1977)의 AHP는 기준들간의 쌍대비교를 통하여 9점 척도(9-Point Scale)로 각각의 중요도를 부여하며, 하위계층이 M개의 요소로 구성되어 있을 때 모두 $M(M-1)/2$회의 쌍대비교를 통해 가중치를 산정하며, 행렬의 대각을 중심으로 역수의 형태를 취하는 쌍대비교 행렬 A는 Eq. (1)과 같다.

$$A=\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \cdots & a_{1M} \\ a_{21} & a_{22} \cdots & a_{2M} \\ \cdots & \cdots \cdots & \cdots \\ a_{M1} & a_{M2} \cdots & a_{MM} \end{bmatrix} \tag{1}$$

여기서, $a_{ij}=1/a_{ji}$, $a_{ii}=1$, $\forall i$

위의 행렬에서 각각의 열에 대한 값들을 정규화한 후 각 행에서 평균화하며, 최종목표에 대한 기준의 상대적 중요도를 나타내는 요소 $w_1, w_2, \cdots, w_M$ 및 가중치벡터 W는 Eq. (2)와 같다.

$$W=(w_1, w_2, \cdots, w_M), \sum_{i=1}^{M} w_i = 1 \tag{2}$$

계층구조에서 level 1의 기준에 대한 각 대안들의 쌍대비교는 level 2에서 이루어지고, $N \times N$형태의 우선순위

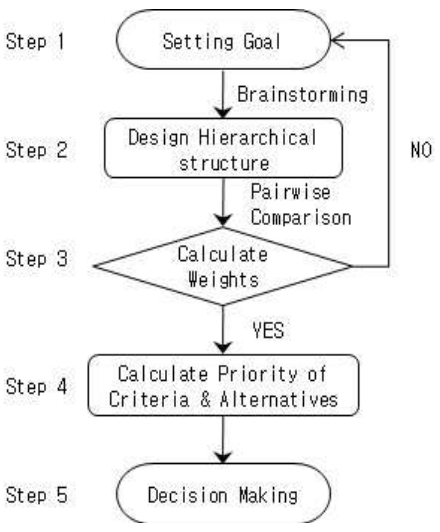


Fig. 1. AHP Analysis Process

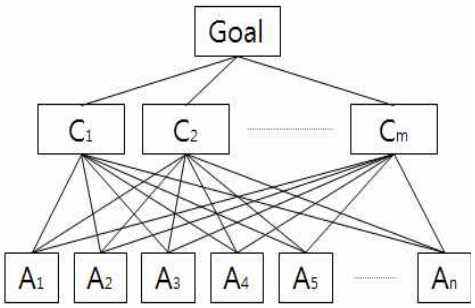


Fig. 2. The Hierarchical Structure

벡터행렬 M은 위와 같은 방법으로 정규화와 평균화를 통해 계산된다. 이로부터 계산된 벡터행렬 X는 Eq. (3)과 같다.

$$X = \begin{matrix} w_1 & w_1 & \cdots & w_M \end{matrix} \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & X_{1M} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2M} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ X_{N1} & x_{N2} & \cdots & x_{NM} \end{bmatrix} \tag{3}$$

마지막으로, 우선순위벡터는 기준에 대한 가중치($w_1, w_2, \cdots, w_m$)와 곱하여 Eq. (4)와 같은 행렬식을 얻을 수 있다.

$$Z = \begin{bmatrix} w_1x_{11} & w_2x_{12} & \cdots & w_Mx_{1M} \\ w_1x_{21} & w_2x_{22} & \cdots & w_Mx_{2M} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ w_1x_{N1} & w_2x_{N2} & \cdots & w_Mx_{NM} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} & \cdots & z_{1M} \\ z_{21} & z_{22} & \cdots & z_{2M} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ z_{N1} & z_{N2} & \cdots & z_{NM} \end{bmatrix} \tag{4}$$

행렬식 Z의 각 행에 대한 요소들의 합은 Eq. (5)와 같다.

$$w_i = \sum_{j=1}^{M} z_{ij}, i = 1, 2, \cdots, N \tag{5}$$

AHP의 최종단계는 Eq. (4)와 같이 N(대안의 수)$\times M$(기준의 수)행렬 Z를 구하는 것이며, 행렬 Z를 통해 최종 평가와 대안의 순위를 나타낼 수 있다. AHP에서는 Eq. (5)에 의해 각 대안의 우선순위가 결정된다.

대안들의 우선순위를 결정하기 위해 가역행렬(Invertible Matrix)의 행과 열에 대한 정규화와 평균화를 바탕으로 한 방법이 주로 사용되지만, 가역행렬에 대한 일관성이 없는 경우에는 고유치와 고유벡터를 사용하는 다른 우선순위 평가법들이 사용될 수도 있다.

2.2 퍼지이론(Fuzzy Theory)

퍼지집합 이론은 전제집합을 X라 하고, x는 X의 요소라고 할 때 X상의 퍼지집합 A는 구성함수$\mu_A(x)$에 의해 Eq. (6)과 같이 나타낸다.

$$\mu_A : X \rightarrow [0,1] \tag{6}$$

집합 X에 대한 퍼지집합 A의 소속함수는 μ_A이고, 그 범위는 [0, 1]이다. 또한 X는 퍼지집합 A의 전체집합(universe of discourse)이라 하며, 퍼지부분집합 A는 원소 x와 소속도 $\mu_A(x)$의 쌍의 집합으로서 Eq. (7)과 같이 나타낸다.

$$A = (x, \mu_A(x)) | x \in X \tag{7}$$

2.2.1 삼각퍼지수(Triangular Fuzzy Number)

보통 퍼지집합에서는 삼각형의 소속함수가 많이 이용되며, 퍼지집합이 연속적(Piecewise Continuous)이고, 볼록집합(Convex Set)이며, 정규화(Normalized)되어 있는 경우를 삼각퍼지수라고 한다.

삼각형의 소속함수를 이용하면, 계산의 효율성과 자료획득을 보다 쉽게 할 수 있다. 삼각퍼지수 μ_A는 기본적으로 (a_1, a_2, a_3)와 같이 세 개의 파라메타로 구성이 되며, 삼각퍼지수 A의 멤버십함수는 Eqs. (8)~(11)과 같다.

$$\mu_A(x) = 0, \forall x \in (-\infty, a_1] \cup [a_3, \infty) \tag{8}$$

$$\mu_A(x) = 1, x = a_2 \tag{9}$$

$$\mu_A(x) = (x - a_1)/(a_2 - a_1), \forall x \in [a_1, a_2] \tag{10}$$

$$\mu_A(x) = (a_3 - x)/(a_3 - a_2), \forall x \in [a_2, a_3] \tag{11}$$

Fig. 3은 삼각퍼지수 μ_A가 위와 같은 소속함수에 의해 정의됨을 나타낸다. 즉, 세로축은 소속도(Membership)를 나타내며, 삼각퍼지수가 a_2일 때 소속도가 가장 높고 a_1과 a_3로 갈수록 소속도가 떨어진다.

a_1과 a_3은 획득가능영역의 하한계와 상한계이며, a_2는 퍼지숫자의 평균값 μ_A이다.

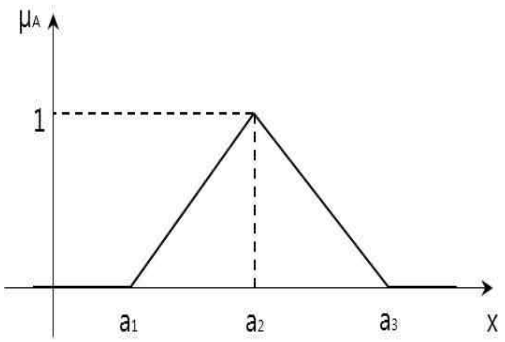


Fig. 3. Membership Function of μ_A

2.2.2 퍼지결합도(Fuzzy Synthetic Extent)

FAHP는 AHP 설문의 쌍대비교 과정에서 인간의 사고과정이나 언어적 표현에 내재된 모호성 및 불확실성을 정성적·객관적인 지표로 나타내기 위해 쌍대비교의 결과를 퍼지수로 나타내어 평가기준이나 대안의 상대적 중요도를 산정하는 의사결정기법이다. AHP 분석과는 달리 FAHP 분석은 설문응답자 쌍대비교 결과를 Table 1과 같은 퍼지수로 다루어야하며 FAHP 분석과정의 퍼지수를 통한 가중치계산을 위해 Chang (1996)의 Extent Analysis Method on Fuzzy AHP 방법을 적용하였다.

퍼지 쌍대비교 행렬 A가 다음과 같다고 가정하면,

$$A=[a_{ij}]=[(l_{ij},m_{ij},u_{ij})],$$

$$(i,j=1,2,\cdots,n)=\begin{pmatrix} a_{11}\ a_{12}\cdots a_{1n} \\ a_{21}\ a_{22}\cdots a_{2n} \\ \vdots\ \ \vdots\ \ \vdots\ \ \vdots \\ a_{n1}\ a_{n2}\cdots a_{nn} \end{pmatrix} \quad (12)$$

$i=j$인 모든 $a_{ij}=(1,1,1)$이고 $l_{ij}=\frac{1}{l_{ji}}$, $m_{ij}=\frac{1}{m_{ji}}$, $u_{ij}=\frac{1}{u_{ji}}$의 관계가 성립하며, Chang (1996)의 Fuzzy AHP 적용절차는 다음과 같다.

step 1. i번째 요소의 퍼지결합도의 값 E_i 결정.

$$E_i=\sum_{j=1}^{n}a_{ij}\otimes\left(\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}a_{ij}\right)^{-1} \quad (13)$$

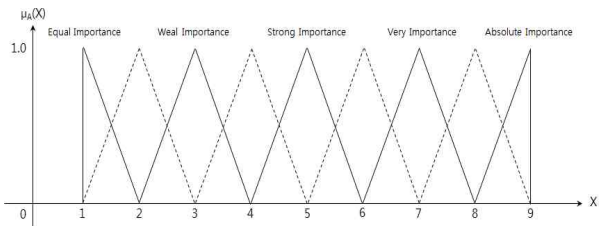


Fig. 4. Triangular Fuzzy Number

step 2. 삼각퍼지수 $M_1=(l_1,m_1,u_1), M_2=(l_2,m_2,u_2)$에서 $M_2\geq M_1$일 가능성 결정.

$$V(M_2\geq M_1)=hgt(M_2\cap M_1)=\mu_{M2}(d) \quad (14)$$

$$\begin{cases} 1, & \text{if } m_2\geq m_1 \\ 0, & \text{if } l_1\geq u_2 \\ \dfrac{l_1-u_2}{(m_2-u_2)-(m_1-l_1)}, & otherwise \end{cases}$$

여기서, d는 u_{M1}과 u_{M2}의 교차점의 x 좌표값이다.

step 3. 삼각퍼지수 M이 다른 k개의 퍼지수 $M_i(i=1,2,\cdots,n)$보다 클 가능성 결정.

$$V(M\geq M_1,M_2,\cdots,M_k)$$

$$=V[(M\geq M_1)\text{and}(M\geq M_2)\text{and}\cdots\text{and}(M\geq M_k)] \quad (15)$$

$$=\min V(M\geq M_i), i=1,2,\cdots,k.$$

step 4. 특정요소 $i(i=1,2,\cdots,n)$에 대하여, $w'=\min V(E_i\geq E_j),(j=1,2,\cdots,n;i\neq j)$일 때 각 요소들의 가중치 벡터를 Eq. (16)과 같이 결정하고 이를 정규화하여 Eq. (17)과 같이 정규화된 가중치 벡터 W 결정.

$$W'=(w'_1,w'_2,\cdots w'_n)^T \quad (16)$$

$$W=(w_1,w_2,\cdots,w_n)^T \quad (17)$$

3. Fuzzy 의사결정 기법 (Fuzzy Decision Making : FDM)

본 연구에서 적용한 FDM은 농업용 저수지 수자원계획에 있어 퍼지이론과 계층분석기법을 혼합하여 문제를 해결하는 접근법으로 쌍대비교 과정을 통해 평가 기준에 삼각퍼지수를 적용하여 상대적인 중요도 산출 후 최종 대안에 대한 우선순위를 산정하고자 하였으며, 그 절차는 다음과 같다.

Table 1. Saaty's 9-Point Scale and Triangular Fuzzy Number

Crisp AHP values	Judgment definition	Fuzzified AHP values
1	Equal Importance	(1, 1, 1+δ)
3	Weal Importance	(3-δ, 3, 3+δ)
5	Strong Importance	(5-δ, 5, 5+δ)
7	Very Importance	(7-δ, 7, 7+δ)
9	Absolute Importance	(9-δ, 9, 9)
2, 4, 6, 8	Median	(x-1, x, x+1), x=2, 4, 6, 8

Table 2. Agricultural Reservoir Data for Analysis

Reservoir	Basin Area (ha)	Dam Length (m)	Dam Height (m)	Total Storage (1,000 m^3)	Exploitable Storage (100 m^3)	Cost (billion)	Environmental Condition	Flood Safety	Resident Needs (%)
Changpyung	1,850	122	19.7	554	2,544	20.9	Good	Negative	95
Gumbong	1,430	170	25.5	1,468	5,601	39.3	Good	Negative	80
Manun	2,375	148	12.0	2,203	3,580	19.6	Good	Negative	80
Unam	1,320	140	20.0	830	4,710	23.7	Normal	Negative	85
Okyeon	2,260	203	21.0	3,917	1,912	23.2	Good	Negative	95
Gucheon	1,692	135	17.0	727	2,589	31.4	Normal	Negative	85
Okseong	1,150	229	14.4	1,926	1,103	23.7	Good	Negative	85
Jipyung	2,556	140	16.2	2,602	2,611	30.5	Normal	Negative	85
Samga	2,425	184	37.6	4,086	972	27.9	Bad	Negative	90
Kohyun	3,500	200	12.0	1,098	1,149	28.6	Bad	Negative	85

step 1. 평가기준 및 대안선정(계층구조화)

농업용 저수지 수자원 계획수립에서 발생하는 의사결정 문제를 상호관련된 의사결정요소의 계층으로 분류하고 구조화한다. 이때 각 단계별 요인들은 독립적인 관계이며 상위단계에 대한 하위 단계 요인들은 종속적이다. 본 연구에서는 농업용 저수지의 추가저수량 확보를 위한 합리적인 우선순위 도출을 목표로 낙동강 중·상류부에 위치하며 저류공간 추가확보 및 하천유지유량 공급이 유리한 농업용 저수지 10개소를 대상으로 분석하였다.

평가항목의 선정은 크게 경제적, 물리적, 그리고 환경적 측면에서 저수지 추가저수량 확보시 고려해야 할 항목을 선정하였으며 평가자의 일관성 확보를 위해 평가항목은 7±2개의 범위에서 최소한의 항목을 선정하였다. 선정된 6개의 평가기준 가운데 사업효율 항목은 저수지 추가저수량 확보에 따른 사업비의 효율을 나타내며, 치수안전도는 추가저수량 확보에 따른 하류유역 영향 및 치수대책 수립여부에 대한 평가를 나타낸다. 또한, 환경여건의 평가는 저수지 주변의 생태보존지구나 국립공원의 존재 여부를 판단하며 대상 지구에서 요구되는 하천유지 용수량 및 지형적 여건에 따른 대상 저수지의 추가확보가능 저수용량을 판단하는 개발가능효율에 대한 평가도 포함하고 있다. 마지막으로 주민호응도는 지구선정에 대한 지역민의 추진의지 및 숙원도 평가에 대한 내용을 나타낸다. 각 평가기준에 따른 각 대안별 기초자료는 Table 2와 같으며 평가를 위한 계층구조도는 Fig. 5와 같다.

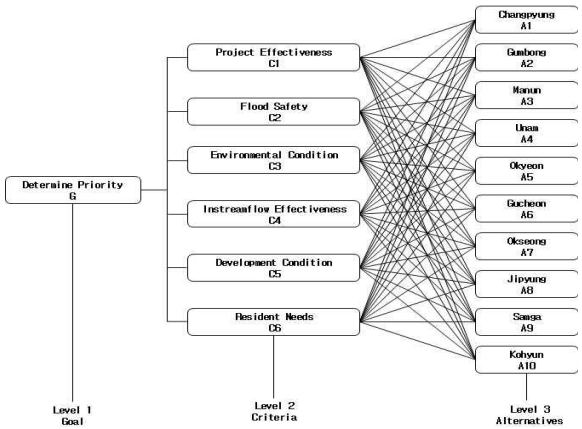


Fig. 5. The Hierarchical Structure for AHP Analysis

step 2. 설문조사 및 AHP분석

AHP 기법은 전체 계층구조를 설정하고 설문조사를 통해 평가항목별 가중치를 산정한 후 각 하위계층 요소의 선호도를 결정하는 방법이다. 설문조사 시 보다 객관적이고 합리적인 응답결과를 얻기 위해서 설문응답자는 각 평가대안의 현황 및 특성을 명확히 알고 있어야 하며 평가의 목적과 평가기준에 대한 사전지식이 충분한 설문응답자를 선별해야 한다. 따라서 본 연구에서는 대상 저수지의 지형적·환경적·사회적·경제적 특성에 대한 사전지식이 풍부한 수자원 설계 및 관리경력 10년 이상의 전문가그룹을 대상으로 설문조사를 실시하였다. 뿐만 아니라 AHP 분석에서는 Saaty (1977; 1980; 1990)의 고유치(Eigenvalue) 방법을 이용하여 의사결정요소의 상대적인 중요도를 추

정하였으며, 응답결과의 신뢰도 향상을 위해 일관성지수(Consistency Index)를 이용하여 일관성 검토를 수행하였다. FAHP 기법의 적용을 위해 실시한 AHP 설문조사결과 설계된 계층구조의 level 2 평가항목에 대한 각 대안의 가중치 및 일관성 검토결과는 아래의 Tables 3~4와 같다.

Table 3과 같이 설문결과에 따른 AHP 분석결과 Level 2의 평가기준에 대한 중요도는 치수안전도 > 개발가능 효율 > 하천유지유량 효율=사업효율=주민호응도 > 환경여건의 순으로 평가되었다. 각 평가기준에 대한 대안별 가중치는 Table 4와 같이 계산되고 이때의 일관성 비율은 최대 3%로 나타나 설문응답의 일관성은 유지되는 것으로 나타났다.

step 3. 삼각퍼지수 산정.

FAHP 기법의 적용을 위해 Saaty (1980)의 9점 척도를 이용하여 쌍대비교행렬을 구성하고, 설문 응답자들로부터 측정된 언어 변수값을 삼각퍼지수 형태의 삼중항(Triplet)으로 나타내면 Table 5와 같이 나타낼 수 있다.

step 4. 퍼지결합도에 의한 중요도 평가

AHP의 쌍대비교에 의한 설문결과는 대한 언어변수에 대한 불확실성을 내포하고 있으므로 본 연구에서는 Chang (1996)이 제안한 퍼지결합도를 통해 언어변수에 대한 불확실성을 정량화 하였으며 FAHP에 의한 최종 우선순위 산정결과는 Table 6과 같다.

4. 의사결정 분석기법의 비교 · 검토 및 고찰

본 연구에서 적용된 FAHP 기법에 대한 검토를 위해 비퍼지 AHP분석과 평점모형에 의한 우선순위 선정방법을 비교·검토해 보았다. 단순 평점모형에 의한 우선순위 분석은Table 8과 같이 level 2 기준에 대한 각 대안별 획득점수를 산술적으로 합산하여 고득점순으로 우선순위를 산정하였으며, 단순평점 모형의 평가결과는 Table 7과 같다.

Table 3. Weights and Consistency Ratio

Criteria (Level 2)	Weights (w)	Consistency Ratio (CR)
Project Effectiveness	0.16	0.01
Flood Safety	0.24	
Environmental Condition	0.11	
Instreamflow Effectiveness	0.16	
Development Condition	0.17	
Resident Needs	0.16	

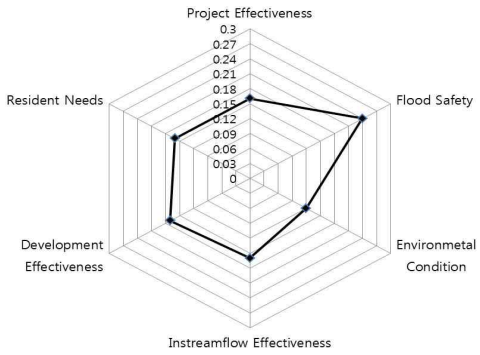
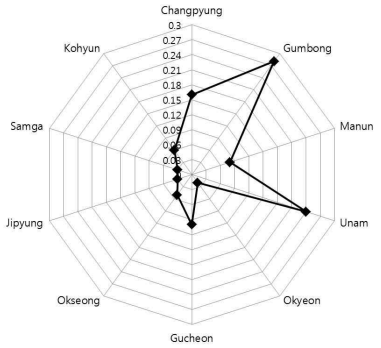


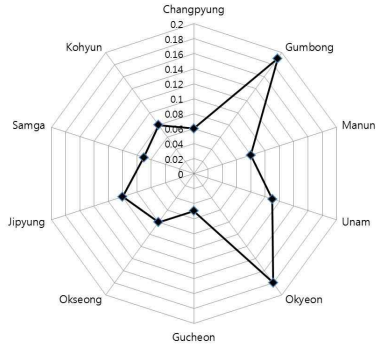
Fig. 6. Weights of Criteria

Table 4. Alternatives Weights and Consistency Ratio under Level 2 Criteria

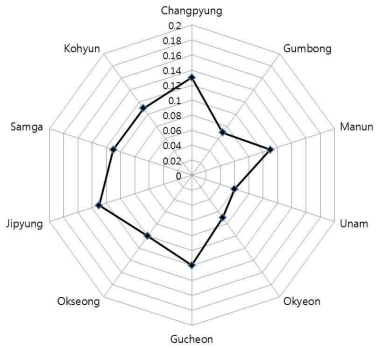
Alternatives	Project Effectiveness		Flood Safety		Environmental Condition		Instreamflow Effectiveness		Development Condition		Resident Needs	
	(W)	(CR)	(W)	(CR)	(W)	(CR)	(W)	(CR)	(W)	(CR)	(W)	(CR)
A1	0.16	0.03	0.06	0.01	0.13	0.01	0.06	0.01	0.14	0.01	0.12	0.02
A2	0.28		0.19		0.07		0.23		0.22		0.04	
A3	0.08		0.08		0.11		0.12		0.09		0.20	
A4	0.24		0.11		0.06		0.09		0.18		0.20	
A5	0.02		0.18		0.07		0.11		0.06		0.08	
A6	0.10		0.05		0.12		0.08		0.14		0.06	
A7	0.05		0.08		0.10		0.04		0.04		0.07	
A8	0.03		0.10		0.13		0.10		0.04		0.04	
A9	0.03		0.07		0.11		0.09		0.04		0.14	
A10	0.06		0.08		0.11		0.06		0.04		0.05	



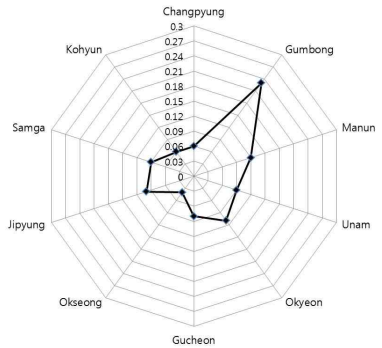
(a) Project Effectiveness



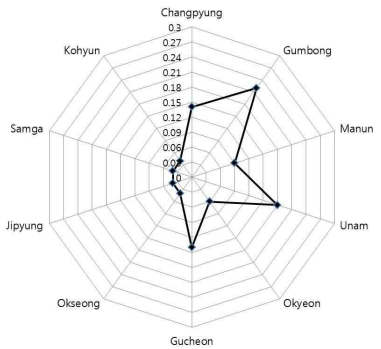
(b) Flood Safety



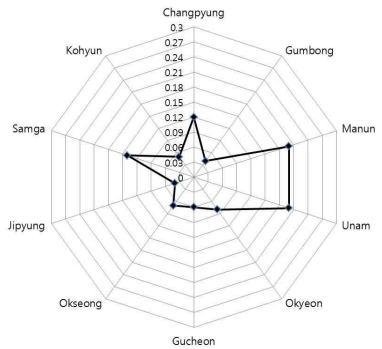
(c) Environmental Condition



(d) Instreamflow Effectiveness



(e) Development Effectiveness



(f) Resident Needs

Fig. 7. AHP Weights

Table 5. 9-Point Scale and Triangular Fuzzy Number for Pairwise Comparison

AHP values	Judgment definition	TFN	Reciprocal TFN
1	Equal Importance	(1, 1, 2)	(1/2, 1, 1)
3	Weal Importance	(2, 3, 4)	(1/4, 1/8, 1/2)
5	Strong Importance	(4, 5, 6)	(1/6, 1/5, 1/4)
7	Very Importance	(6, 7, 8)	(1/8, 1/7, 1/6)
9	Absolute Importance	(8, 9, 9)	(1/9, 1/9, 1/8)
2, 4, 6, 8	Median	$(x-1,\ x,\ x+1),\ x=2,\ 4,\ 6,\ 8$	$(1/(x+1),\ x,\ 1/(x-1))$ $x=2,\ 4,\ 6,\ 8$

Table 6. Weights and Priorities by FAHP

Alternatives	Project Effectiveness	Flood Safety	Environmental Condition	Instreamflow Effectiveness	Development Condition	Resident Needs	Rank
A1	0.16	0.06	0.13	0.06	0.14	0.12	4
A2	0.28	0.19	0.07	0.23	0.22	0.04	1
A3	0.08	0.08	0.11	0.12	0.09	0.20	3
A4	0.24	0.11	0.06	0.09	0.18	0.20	2
A5	0.02	0.18	0.07	0.11	0.06	0.08	5
A6	0.10	0.05	0.12	0.08	0.14	0.06	6
A7	0.05	0.08	0.10	0.04	0.04	0.07	10
A8	0.03	0.10	0.13	0.10	0.04	0.04	8
A9	0.03	0.07	0.11	0.09	0.04	0.14	7
A10	0.06	0.08	0.11	0.06	0.04	0.05	9

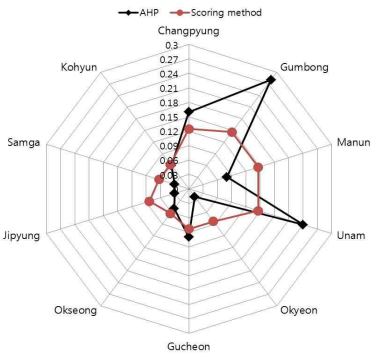
Table 7. Weights and Priorities by Scoring Method

Alternatives	Project Effectiveness	Flood Safety	Environmental Condition	Instreamflow Effectiveness	Development Condition	Resident Needs	Rank
A1	0.125	0.100	0.113	0.099	0.109	0.140	1
A2	0.146	0.100	0.113	0.124	0.098	0.070	2
A3	0.146	0.100	0.113	0.107	0.109	0.070	4
A4	0.146	0.100	0.094	0.116	0.098	0.093	3
A5	0.083	0.100	0.113	0.091	0.109	0.140	5
A6	0.083	0.100	0.094	0.099	0.098	0.093	7
A7	0.063	0.100	0.113	0.091	0.109	0.093	6
A8	0.083	0.100	0.094	0.099	0.098	0.093	7
A9	0.063	0.100	0.075	0.083	0.087	0.116	9
A10	0.063	0.100	0.075	0.091	0.087	0.093	10

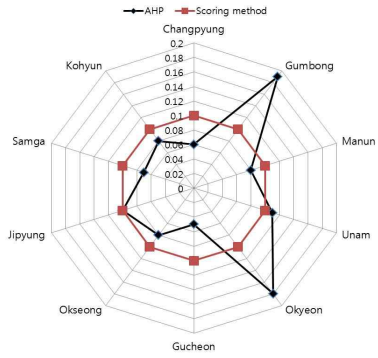
Table 9 및 Fig. 10과 같이 AHP와 FAHP 분석결과 금봉지>운암지>만운지>창평지>옥연지>구천지>삼가지>지평지>고현지>옥성지의 순으로 분석방법에 따른 최종 우선순위변동은 발생하지 않았다. 그러나 Table 8에서 보듯 AHP와 FAHP 기법의 항목별 가중치에 대한 편차는 0.001~0.007까지 발생하고 있다. 이는 설문 응답자들의 언어적 판단에 따른 주관성 및 불확실성을 고려하여 정량화시킨 Fuzzy 접근방법과 이를 고려하지 않는 Non-Fuzzy AHP 방법과의 차이로 인해 발생하는 것으로, FAHP 기법에서 응답자에 대한 오차를 고려하기 위해 응답자가 선택한 값이 확정된 값이 아니라 확률적인 분포를 띄고 있다고 가정한다. 따라서 Fuzzy의 개념을 이용한 가중치 값은 응답의 불확실성까지도 고려한 가중치가 되며 AHP와 FAHP에 의한 우선순위 산정시 발생한 각 항목별 가중치 편차를 고려한다면 설문 응답결과에 따라 우선순위의 변동가능성은 충분한 것으로 판단된다.

Table 8. Comparison of Weights

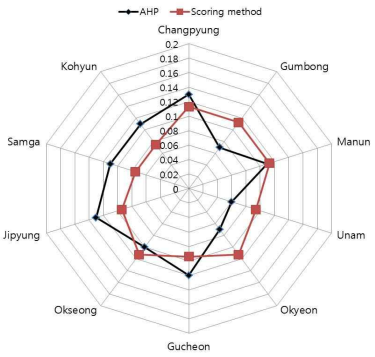
Alternatives	Weight		
	AHP	FAHP	Scoring method
A1	0.105	0.109	0.111
A2	0.174	0.177	0.111
A3	0.110	0.112	0.108
A4	0.144	0.150	0.108
A5	0.097	0.091	0.103
A6	0.091	0.089	0.096
A7	0.065	0.062	0.096
A8	0.079	0.072	0.096
A9	0.079	0.078	0.086
A10	0.067	0.065	0.086



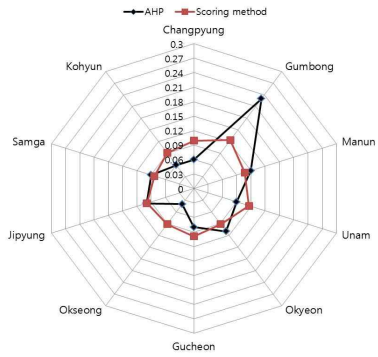
(a) Project Effectiveness



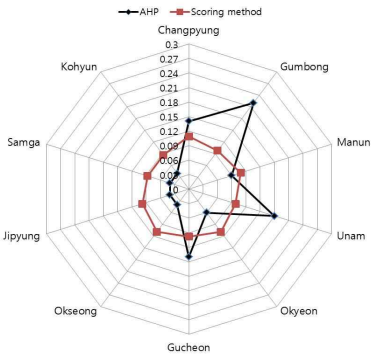
(b) Flood Safety



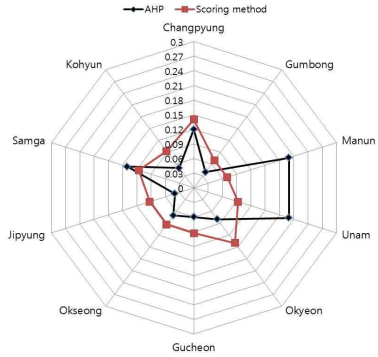
(c) Environmental Condition



(d) Instreamflow Effectiveness



(e) Development Effectiveness



(f) Resident Needs

Fig. 8. Weight Comparison between AHP and Scoring Method

한편 Fig. 8의 평점모형에 의한 우선순위 산정결과는 일반적인 의사결정 과정에서 가장 광범위하게 사용되는 방법으로 전문가그룹 및 의사결정 관련자의 의견을 고려하지 않고 의사결정 주체에 의해 사전에 설정된 절대평가 지표를 토대로 가중치를 산정하고 우선순위를 결정한 것이므로 금회 분석결과와는 다소 차이가 발생함을 알 수 있다. 따라서 Table 9와 같은 분석방법별 우선순위 산정결과의 차이는 의사결정자의 판단능력을 저하시킬 수 있으므로 금회분석에서는 최종우선순위에 대한 보다 객관적인 평가를 위해 평점모형과 AHP 기법의 항목별 가중치를 기하평균을 통해 재산정하고 최종 FAHP 분석을 실

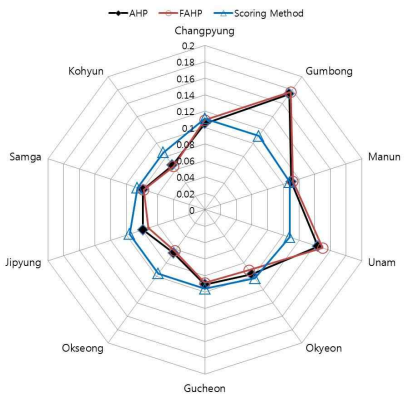


Fig. 9. Weight by Technic

시하였다. 평점모형과 FAHP의 혼합모형에 대한 가중치 선정결과는 아래의 Table 10 and Fig. 11과 같다.

위의 Table 11 및 Fig. 12는 평점모형과 FAHP의 혼합모형을 이용한 각 대안별 분석결과를 나타내고 있으며 이에 따른 우선순위는 금봉지>운암지>창평지>만운지>옥연지>구천지>삼가지>지평지>옥성지>고현지의 순으로 나타났다.

Table 9. Comparison of Priority

Alternatives	Rank		
	AHP	FAHP	Scoring method
A1	4	4	1
A2	1	1	2
A3	3	3	4
A4	2	2	3
A5	5	5	5
A6	6	6	7
A7	10	10	6
A8	8	8	7
A9	7	7	9
A10	9	9	10

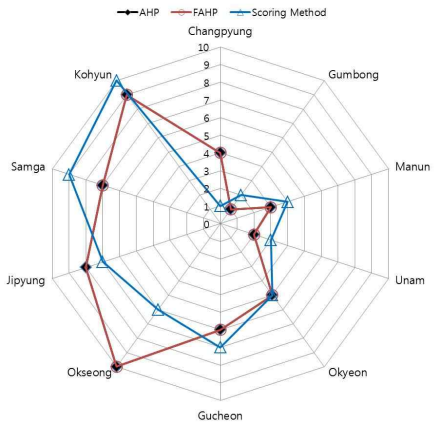


Fig. 10. Priority by Technic

5. 결 론

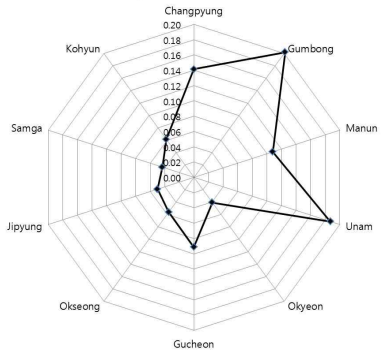
본 연구에서는 농업용 저수지 추가저수량 확보 우선순위 결정을 위해 6개의 평가기준과 10개의 대안을 가정하여 전문가 그룹을 대상으로 설문조사를 실시하고 평점모형, AHP 및 FAHP 기법의 적용을 통해 각 분석기법별 특징과 장·단점을 분석하였으며, FAHP 기법 적용의 타당성을 검토하였다.

Table 7에서와 같이 평점모형은 적용이 간편하고 신속한 의사결정의 장점이 있는 반면 평가항목별 특성이 반영되지 않거나 평가기준별 우선순위의 결과가 같을 수 있으며, 평가자나 최종 의사결정자에 의한 독단적·주관적인 성향이 반영될 수 있으므로 다기준 하의 의사결정 문제에서는 복잡하고 상충적인 이해관계를 해결하고 최적의 절충점(Trade-Off)을 제시하기 어렵다.

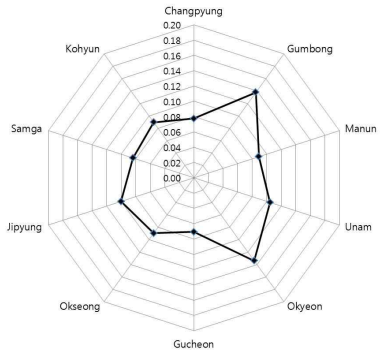
AHP 분석은 평가기준 및 대안의 수가 많아질수록 의사결정문제에서 나타나는 판단 및 평가의 모호성과 불확실성이 높아져 의사결정자의 판단에 일관성 유지가 어려워지는 구조적인 한계점을 가진다. 또한, AHP와 FAHP 분석결과 산정된 각 항목별 가중치 편차를 고려한다면 설문 응답결과에 따라 우선순위의 변동이 발생할 수 있으므로 의사결정자는 의사결정 문제와 관련된 이해당사자들의 의견에 대한 절충점을 찾기 위해 보다 신중한 판단이 요구된다.

Table 10. Weights and Priorities of Modified FAHP Method

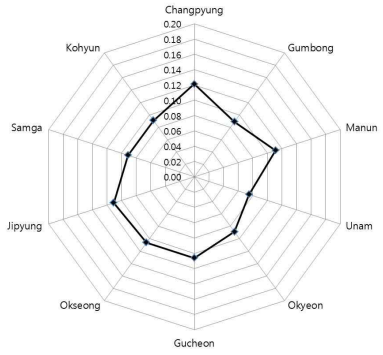
Alternatives	Project Effectiveness	Flood Safety	Environmental Condition	Instreamflow Effectiveness	Development Condition	Resident Needs
A1	0.14	0.08	0.12	0.08	0.12	0.13
A2	0.20	0.14	0.09	0.17	0.15	0.05
A3	0.11	0.09	0.11	0.11	0.10	0.12
A4	0.19	0.10	0.08	0.10	0.13	0.14
A5	0.04	0.13	0.09	0.10	0.08	0.11
A6	0.09	0.07	0.11	0.09	0.12	0.07
A7	0.06	0.09	0.11	0.06	0.07	0.08
A8	0.05	0.10	0.11	0.10	0.06	0.06
A9	0.04	0.08	0.09	0.09	0.06	0.13
A10	0.06	0.09	0.09	0.07	0.06	0.07



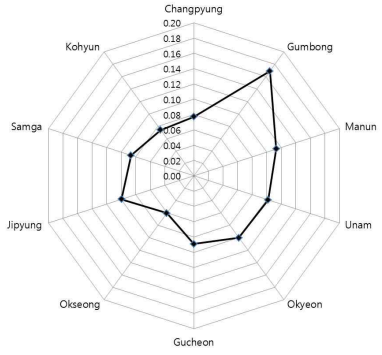
(a) Project Effectiveness



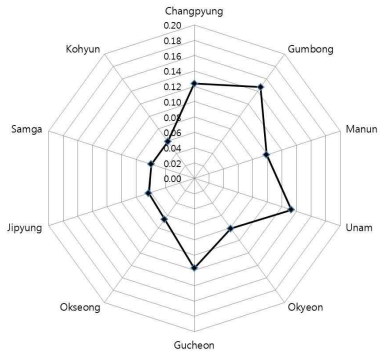
(b) Flood Safety



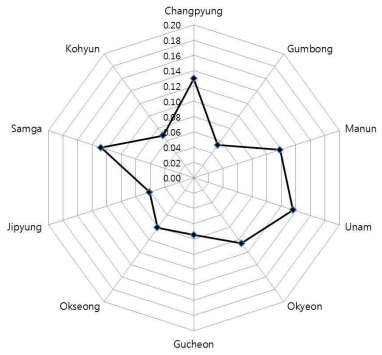
(c) Environmental Condition



(d) Instreamflow Effectiveness



(e) Development Effectiveness



(f) Resident Needs

Fig. 11. Weight of Modified FAHP Method

Table 11. Result of Modified FAHP

Alternatives	Modified FAHP	
	Weight	Rank
A1	0.110	3
A2	0.136	1
A3	0.106	4
A4	0.125	2
A5	0.093	5
A6	0.090	6
A7	0.077	9
A8	0.079	8
A9	0.081	7
A10	0.073	10

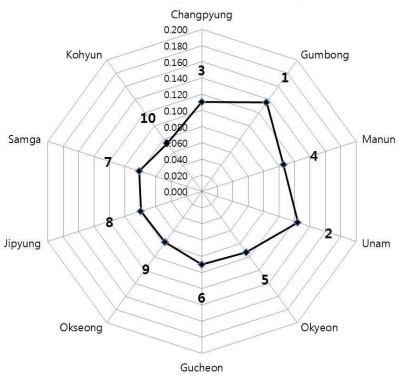


Fig. 12. Weight and Priority Graph

이를 보완하기 위해 본 연구에서는 삼각퍼지수를 이용하여 평가기준 및 대안간 쌍대비교를 통해 우선순위를 도출하였으며, 평점모형과 AHP 기법의 항목별 가중치를 기하평균을 통해 재산정하고 최종 FAHP 분석을 실시함으로써 보다 합리적이고 일반화된 우선순위 결과를 얻고자 하였다. 그 결과 응답자가 선택한 값이 확정된 값이 아니라 확률적인 분포를 띄고 있다는 가정을 전제한 FAHP 가중치 값은 AHP 분석시 응답의 불확실성까지도 고려한 가중치가 되므로 FAHP 기법은 언어변수에 의한 복잡한 의사결정 문제를 보다 객관화할 수 있는 적절한 모형으로 판단되며, 평점모형과 AHP의 혼합가중치를 이용한 FAHP 분석결과에서 보듯 의사결정자 및 이해관계자의 상충된 의견에 대한 적절한 절충점을 제시할 수 있었다. 따라서 FAHP 기법은 인간의 언어적 판단과정에서 필연적으로 발생하는 모호성과 불확실성을 다양한 방법으로 고려하여 기존 AHP 분석의 신뢰도 향상에 크게 기여할 것으로 판단되며, 주관적인 환경에서의 의사결정과정을 정량화·계량화하여 보다 합리적인 평가모델로서의 역할을 할 것으로 기대한다.

본 연구의 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

1) FAHP 기법의 적용을 통해 AHP 분석이 내포하는 불확실성 즉, 인간의 언어변수값에 대한 정량화 방안 제시.
2) 농업용 저수지 추가저수량 확보를 위해 우선순위 산정기법별 비교검토를 통한 FAHP 기법의 적용가능성 검토.
3) 평점모형 및 AHP의 혼합 가중치를 이용하여 FAHP 분석을 통해 재해석함으로써 보다 현실적이고 객관적인 의사결정과정 제시.

참고문헌

Chang, D.Y. (1996). “Applications of the Extent Analysis Method on Fuzzy AHP.” *European Journal of Operation Research*, Vol. 95, No. 3, pp. 649-655.

Hwang, C.L., and Yoon, K.S. (1981). Multiple Attribute Decision Making : Methods and Applications. Springer, Berlin.

Olson, D.L. (1996). Decision Aids for Selection Problems. Springer, New York.

Saaty, T.L. (1977). “A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures.” *Journal of Mathematical Psychology*, Vol. 15, No. 3, pp. 234-281.

Saaty, T.L. (1980). The Analytic Hierarchy Process. McGrow-Hill, New York.

Saaty, T.L. (1990). “Eigenvector and Logarithmic Leasts Squares.” *Eur J Oper Res*, Vol. 48, pp. 156-160.

Zadeh, L.A. (1965). “Fuzzy Sets.” *Information Control*, Vol. 8, pp. 338-353.

Zeleny, M. (1982a). “An Essay into a Philosophy of MCDM : A Way of Thinking or Another Algorithm?” *Computers and Operations Research*, Vol. 19, pp. 563-566.

Zeleny, M. (1982b). “Multiple Criteria Decision Making: Part II Multi-plant Strategy and Plant Relocation.” *International Journal of Production Research*, Vol. 23, No. 2, pp. 361-370.

논문번호: 12-070	접수: 2012.06.27
수정일자: 2012.08.13/09.07/10.11	심사완료: 2012.10.11