

확장된 Fuzzy AHP를 이용한 효율적인 의사결정

An efficient Decision-Making using the extended Fuzzy AHP Method(EFAM)

류경현 · 피수영*

Kyung-Hyun Ryu and Su-Young Pi*

*대구가톨릭대학교 컴퓨터정보통신공학부

요 약

웹상에서 이용할 수 있는 방대한 문서의 집합인 WWW은 사용자를 위한 다양한 정보의 보고이다. 그러나 불필요한 정보의 필터링이나 사용자가 필요한 정보를 검색하는데 많은 시간이 소요되어 효율적인 의사결정을 하는데 어려움이 있다. 본 논문에서는 의사결정에 관한 요소를 계층화 구조로 나타내는 AHP나 Fuzzy AHP방법들을 데이터의 관점에서 대안, 평가기준, 주관적 속성가중치, 개념과 객체 사이에 퍼지 관계를 기반으로 웹 자원을 효과적으로 관리하고 의사결정을 할 수 있는 EFAM(Extended Fuzzy AHP Method) 모델을 제안하였다. 제안한 EFAM 모델은 웹상의 효율적인 문서검색과 특정 영역의 문제를 의사결정하기 위하여 영역의 코퍼스로부터 추출된 개념들이 가지는 의미론적 내용에 감성 기준을 고려함으로써 효율적으로 문서를 추출할 수 있어서 명확한 의사결정을 할 수가 있음을 실험을 통하여 확인한다.

키워드 : 계층화 의사결정법, 퍼지계층화 의사결정법, 삼각퍼지숫자, 다기준 의사결정

Abstract

WWW which is an applicable massive set of document on the Web is a thesaurus of various information for users. However, Search engines spend a lot of time to retrieve necessary information and to filter out unnecessary information for user. In this paper, we propose the EFAM(the Extended Fuzzy AHP Method) model to manage the Web resource efficiently, and to make a decision in the problem of specific domain definitely. The EFAM model is concerned with the emotion analysis based on the domain corpus information, and it composed with systematic common concept grids by the knowledge of multiple experts. Therefore, The proposed the EFAM model can extract the documents by considering on the emotion criteria in the semantic context that is extracted concept from the corpus of specific domain and confirms that our model provides more efficient decision-making through an experiment than the conventional methods such as AHP and Fuzzy AHP which describe as a hierarchical structure elements about decision-making based on the alternatives, evaluation criteria, subjective attribute weight and fuzzy relation between concept and object.

Key Words : Analytic Hierarchies Process, Fuzzy Analytic hierarchy process, triangular fuzzy number, multi-criteria decision-making

1. 서 론

의사결정에 관한 요소를 계층화 구조로 표현하는 방법으로 계층화 의사결정법(analytic hierarchy process method : AHP)이 있다. 그러나 AHP는 평가치로 크리스프 값(crisp value : 일반수)을 사용함에 따라 평가대안에 대한 전문가의 판단이 정확하게 정량화되지 못하고 주로 분명한 의사결정 문제에만 사용되며, 전문가의 판단을 수치로 정확히 변환하는데 있어 불확실한 요소들을 고려하지 않고 있어서 평가에 있어서도 균등하지 못한 크기로 평가 된다는 문제점이 있다 [1].

이를 해결하기 위해서 AHP를 퍼지화하는 방법이 1985년에 Buckley에 의해 L-R형 퍼지숫자를 사용한 방법이 제안

되고 있다. 이것은 쌍대비교행렬의 단계에 있어서 퍼지개념을 직접 도입하지 않은 방법이다. Zadeh는 인간 사고와 유사한 방식에서 부정확성 및 애매성과 관련된 불확실성을 추론하기 위해서 퍼지 집합을 제안하였다. 그러나 크리스프 값을 가진 의사결정 행렬은 부정확한 판단을 모델링할 때 전문가의 의견을 반영할 수 없기 때문에 실생활 상황을 모델화하기에는 부적합하다. 이를 보완한 방법이 퍼지 계층화 의사결정법(fuzzy analytic hierarchy process method : Fuzzy AHP)으로 정확한 크리스프 값 대신에 퍼지 언어변수들을 삼각 퍼지숫자에 대응시킴으로써 매우 주관적인 판단에 대해 비수치적 언어 변수를 사용하는 전문가의 선호와 관련된 부정확성을 통합할 수 있다. Laarhoven and Pedrycz는 Fuzzy AHP에서 쌍대비교행렬에 직접적으로 퍼지이론의 삼각 퍼지숫자를 이용하는 Saaty의 AHP를 전개한다. 이것은 기준과 판단과정을 분석하는 동안 발생할 수 있는 애매한 문제를 해결하기 위함이다[2,3]. 그러나 쌍대비교행렬의 n 개의 기준을

접수일자 : 2009년 9월 24일

완료일자 : 2009년 11월 30일

가진 레벨에 대해 $n(n-1)/2$ 번의 판단을 요구하기 때문에 전문가의 일관된 쌍대비교를 확신하기가 어렵다는 점이 있다. 즉 기준(대안)이 증가함에 따라 비교의 수도 증가한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 Wang and Chen[4,5]은 일관된 퍼지 선호관계에서 퍼지 언어 선호관계 행렬을 구성하기 위해서 퍼지 언어 평가 변수를 사용하는 방법을 제안하였다. 그러나 데이터의 관점에서 이 방법은 퍼지 주관적 속성가중치만을 고려하여 계산의 복잡성을 가지고 있다.

따라서 본 논문에서는 의사결정에 관한 요소를 계층화 구조로 나타내는 AHP나 Fuzzy AHP 방법들을 데이터의 관점에서 대안, 평가기준, 주관적 속성가중치, 개념과 객체 사이를 퍼지 관계를 기반으로 더 효과적으로 개선하여 웹 자원을 관리하고 의사결정을 할 수 있는 EFAM(the Extended Fuzzy AHP Method) 모델을 제안한다.

2. 관련 연구

2.1 AHP

AHP는 계층적 구조를 기본적 구조의 도구로 사용하고 1980년대 초 Thomas. L. Saaty에 의하여 개발된 의사결정방법으로 다 요소 의사결정기법(multiattribute decision method)중에서 가장 널리 사용하고 있는 방법이다[6]. AHP는 일반적으로 다음과 같은 다섯 단계의 절차로 구성되어 있다.

단계 1 : 의사결정 계층 설정

단계 2 : 의사결정 요소들 간의 쌍대비교

요소들의 쌍대비교에 대한 결과는 다음 식 (1)과 같이 $n \times n$ 의 양의 역수 행렬요소를 가지는 A 행렬로 나타낸다.

$$A = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

여기서 모든 $i, j = 1, 2, \dots, n$, $a_{ij} > 0$, $a_{ij} = 1/a_{ji}$ 이다. 표 1은 Saaty가 제안한 9점 척도를 사용하여 쌍대비교행렬의 요소 a_{ij} 에 들어가는 값을 나타낸다.

표 1. Saaty의 9점 척도
Table 1. 9 point scale of Saaty

중요도	정의
1	동등 중요(equally important)
3	약간 더 중요(weakly more important)
5	중요(strongly more important)
7	매우중요(demonstratively more important)
9	절대 중요(absolutely more important)
2,4,6,8	인접한 중요도의 중간 값
역수	a_{ij} 가 위의 값을 가질 때의 a_{ij} 값

단계 3 : 의사결정 요소들의 상대적 가중치 유도

단계 4 : 판단의 일관성 측정

단계 5 : 계층구조의 종합화를 통한 대안들의 우선순위 및 가중치 결정. 대안들의 최종 가중치는 다음 식 (2)에 의해 구할 수 있다.

$$w_i = \sum_{j=1}^n c^j a_i^j, \quad \forall i, j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

여기서 c^j 는 j 번째 평가기준의 가중치이고, a_i^j 는 평가기준 j 에 대한 i 번째 대안의 가중치이다.

2.2 Fuzzy AHP

Fuzzy AHP는 기본적으로 기존 AHP와 같지만 연산과정에 사용되는 데이터가 크리스프 값이 아닌 퍼지 숫자라는 점이 다르다. 삼각퍼지 숫자는 세 개의 점으로 표현할 수 있기 때문에 사용이 간편하다.

Fuzzy AHP의 과정은 다음과 같이 나타낸다.

단계 1 : 계층구조 구성

단계 2 : 퍼지 판단행렬 \bar{V} 구성

퍼지 판단행렬 \bar{V} 는 각 대안과 평가기준사이의 쌍대비교행렬이다. 두 기준 중의 어떤 것이 더 중요한가를 요구함으로써 쌍대비교를 위해 표 1에 나타난 언어변수들을 식 (3)에 배정한다.

$$\bar{V} = \begin{pmatrix} \hat{1} & \hat{v}_{12} & \dots & \hat{v}_{1n} \\ \hat{v}_{21} & \hat{1} & \dots & \hat{v}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \hat{v}_{n1} & \hat{v}_{n2} & \dots & \hat{1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \hat{1} & \hat{v}_{12} & \dots & \hat{v}_{1n} \\ \hat{v}_{21}^{-1} & \hat{1} & \dots & \hat{v}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \hat{v}_{n1}^{-1} & \hat{v}_{n2}^{-1} & \dots & \hat{1} \end{pmatrix} \quad (3)$$

여기서

$$\hat{v}_{ij} = \begin{cases} 1, 3, 5, 7, 9 & : \text{기준 } i \text{는 기준 } j \text{에 대해 상대적으로 중요} \\ 1 & : i=j \\ 1^{-1}, 3^{-1}, 5^{-1}, 7^{-1}, 9^{-1} & : \text{기준 } i \text{는 기준 } j \text{에 대해 상대적으로 작게 중요} \end{cases}$$

단계 3 : 각 기준의 퍼지 가중치를 계산

각 기준의 퍼지 가중치는 식 (4), 식 (5)와 같이 계산한다.

$$\hat{g}_i = [\hat{v}_{i1} \otimes \hat{v}_{i2} \otimes \dots \otimes \hat{v}_{in}]^{\frac{1}{n}}, \quad \forall i=1, 2, \dots, n \quad (4)$$

$$\hat{w}_i = \frac{\hat{g}_i}{\hat{g}_1 \oplus \hat{g}_2 \oplus \dots \oplus \hat{g}_n} \quad (5)$$

여기서 \hat{v}_{ij} 는 기준 j 에 대한 기준 i 의 퍼지 쌍대값이다. \hat{g}_i 는 각 기준에 대한 기준 i 의 퍼지 쌍대값의 기하평균이고 \hat{w}_i 는 i 번째 기준의 퍼지 가중치이다.

단계 4 : 계층 레이어 순서

각 대안의 최종 퍼지 가중치는 식 (6)과 같이 계층 레이어 순서에 의해 계산된다.

$$\bar{U}_i = \sum_{j=1}^n \hat{w}_j \cdot \hat{g}_{ij} \quad (6)$$

여기서 \hat{g}_{ij} 는 i 번째 대안에 대한 j 번째의 퍼지 가중치이다. \bar{U}_i 는 삼각 퍼지숫자 $\bar{U}_i = (l, m, u)$ 에 의해 나타낼 수 있다.

단계 5 : 대안 순위

대안들의 최종 퍼지 값들은 퍼지 숫자에 의해 표현된다. 최적 대안을 선택하기 위하여 퍼지 숫자로부터 크리스프 값에 대한 방법을 정의하는 것이 필요하다.

3. EFAM 모델

전문가의 능력을 측정할 수 있는 체계를 설계하고 이를 근거로 전문가의 능력에 따른 판단결과에 대하여 가중치를 부여하고 최종 대안에 대한 우선순위를 설정하려고 하는 EFAM을 제안한다.

3.1 EFAM의 구성

의사결정 과정에서 기존의 방법들은 다수 전문가들의 가중치를 적용하지 않았으며 만일 전문가들의 능력에 따른 가중치를 부여할 경우에 이를 반영하여 처리할 방법의 부재를 문제점으로 지적할 수 있다. 즉 전문가들의 의견의 불일치에 관한 문제를 해결하기 위해 여기서는 EFAM을 제안하고 그림 1에 흐름도를 나타낸다.

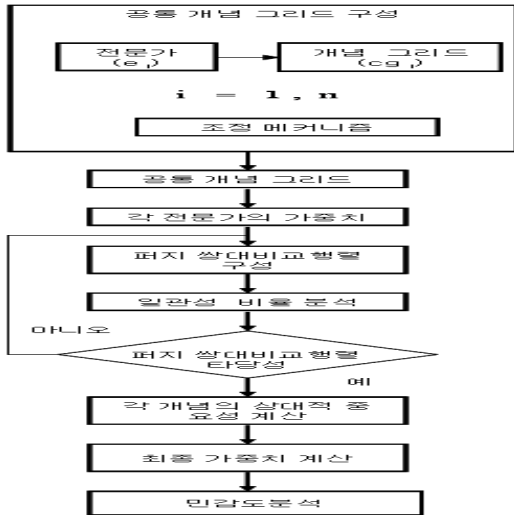


그림 1. EFAM의 흐름도
Fig. 1. flowchart of EFAM

3.2 EFAM의 단계

- (1) 다수 전문가에 의한 개념 구성
‘웹 서버에서 발생할 수 있는 고장’ 문제 영역에 대해서 추출된 각 개념에 대해 모든 가능한 속성들을 수집하기 위해 영역 전문가(domain expert)들로부터 개념그리드를 구성한다.
- (2) 공통 개념 그리드 형성
전 단계에서 다수전문가로부터 획득된 개념그리드들 중에는 중복되거나 동일 개념을 표현하는데 다른 개념이름을 사용하기도 한다. 따라서 공통 개념 그리드 구조를 도출하기 위해 전문가들과 함께 개념들을 조정할 필요가 있다.
- (3) 전문가별 가중치 계산
각 전문가는 다른 과거경험, 배경지식, 관련 평판 및 감성을 가지고 있기 때문에 관련 기준을 기반으로 전문가별 가중치를 정의하는 것이 필요하다. 여기서 ‘감성’ 기준은 ‘웹 서버에서 발생할 수 있는 고장’의 문제가 발생했을 때 자신의 진정한 기분을 자각하고 이를 진심으로 납득할 수 있는 결단을 내릴 수 있는 능력을 말한다[7].
- (4) 퍼지 쌍대비교행렬 구성
쌍대비교법은 기준을 쌍으로 묶어가며 비교하여 가중치를 결정하는 방법이다. 쌍대비교법에 있어서의 척도는 표 1에 나타내었듯이 9점 척도를 가지고 상대적인 선호도에 따라 두 기준을 비교한 값을 표로 작성함으로써 쌍대비교행렬을 생성한다.
전문가들 $E = \{e_1, e_2, \dots, e_m\}$, $m \geq 2$ 에 의해 쌍대평가 된 대안들의 유한집합 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$, $n \geq 2$ 가 주어졌을 때 대안

집합 A 에 대한 전문가 선호는 쌍대비교행렬로부터 우선순위를 다음과 같이 나타낸다.

- ① 쌍대비교행렬의 각 열의 합계 계산
- ② 열비율의 합이 1인 행렬
- ③ 각 행에 대한 평균 계산
- (5) 일관성 비율 분석
전문가의 판단이 처음부터 끝까지 일관되게 판단했는지를 알 수 있다. 이러한 일관성을 측정하기 위해서 일관성 비율(Consistency Ratio : CR)을 구하여 각 전문가들의 퍼지 쌍대비교행렬의 일관성 비율 분석을 한다[8]. 일관성 비율 분석의 과정은 다음과 같이 나타낸다.
 - ① 원래의 쌍대비교행렬의 각 열에 대응하는 기준의 가중치를 곱한 후 각 열의 값을 더한다.
 - ② 일관성 벡터 값 계산
 - ③ 일관성 벡터의 평균값은 일관성 벡터 값의 총합을 개수로 나눈 비율로 나타낸다.
 - ④ 일관성 지수(Consistency Index : CI) 계산
 - ⑤ 일관성 비율(Consistency Ratio : CR) 계산
표 2는 n 의 개수에 따른 RI 의 값을 나타낸다.

표 2. n의 개수에 따른 RI의 값
Table 2. value of RI according to no. of n

n	RI	n	RI	n	RI
1	0.00	6	1.24	11	1.51
2	0.00	7	1.32	12	1.48
3	0.58	8	1.41	13	1.56
4	0.90	9	1.45	14	1.57
5	1.12	10	1.49	15	1.59

- ⑥ 일관성 비율 분석
일관성이 완벽한 경우에는 $\lambda = n$ 이 되므로 CI 값은 0이 되고 CR 값도 역시 0이 된다. 그러나 인간이 판단하는 것에는 여러 가지 모순점들이 있을 수 있기 때문에 대체적으로 CR 값은 0보다 크게 된다. 따라서 Saaty는 경험적으로 볼 때 $CR \leq 0.1$ 인 경우에는 판단의 일관성을 고려하고 $CR > 0.1$ 면 일관적이지 못하므로 다시 쌍대비교행렬 값을 재구성해야 한다. 그러나 계층의 수가 많을 경우에는 20%까지 수용하기로 한다.
- (6) 각 개념의 상대적 중요도 계산
각 개념의 상대적 중요도를 계산하기 전에 먼저 퍼지 쌍대비교행렬의 타당성 여부를 점검하여 타당하지 않으면 퍼지 쌍대비교행렬을 재구성한다. 퍼지 쌍대비교행렬은 각 개념에 대한 상대적 중요도를 결정해서 전문가를 지원하기 위해 사용된다. 따라서 식 (7)과 식 (8)을 이용하여 각 개념의 상대적 중요도를 계산한다.

$$GM_i = \left(\prod_{j=1}^n u_{ij} \right)^{\frac{1}{n}} \text{ 단, } i=1, j=1, n \quad (7)$$

$$W_i = \frac{GM_i}{(GM_1 + GM_2 + \dots + GM_n)} \quad (8)$$
- (7) 각 개념의 최종 가중치 계산
이 단계에서 다수 전문가에 의해 주어진 각 개념들의 상대적 중요도를 이미 언급된 기준들 중 감성기준 고려여부에 따라 식 (9)를 이용하여 최종 가중치를 나타낸다.

$$[fw_{11}, \dots, fw_{1k}, \dots, fw_{1m}] = [\hat{e}_1, \hat{e}_2, \dots, \hat{e}_j, \dots, \hat{e}_n]$$

$$\cdot \begin{pmatrix} \hat{w}_{11} & \dots & \hat{w}_{1k} & \dots & \hat{w}_{1m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \hat{w}_{j1} & \dots & \hat{w}_{jk} & \dots & \hat{w}_{jm} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \hat{w}_{n1} & \dots & \hat{w}_{nk} & \dots & \hat{w}_{nm} \end{pmatrix} \quad (9)$$

여기서 $\hat{w}_{jk}, j=1,2,\dots,n, k=1,2,\dots,m$ 에 대해, j 번째 전문가에 의해 주어진 k 번째 개념의 평균 가중치를 나타낸다. 그리고 fw_k 는 행렬을 곱한 후 개념의 최종 가중치를 표현한다.

(8) 민감도 분석

대안들의 순서를 정하고 나서 견고성(robustness)을 결정하기 위해 민감도 분석을 수행한다[9]. 다양한 입력변수의 변화에 의해, 수치 모델의 결과 값이 어떻게 달라지는지를 살펴보는 분석으로 평가기준(감성기준 고려 여부)에 의해 통합된 전문가의 가중치)을 변화시켜 나가므로써 대안들의 가중치가 어떻게 변화하는지를 검토한다. 변수 ew_j 의 값이 변화함에 따라 대안들의 가중치가 변하는 것을 알 수 있다.

두 변수의 관계를 식 (10)으로 표현하면 다음과 같다.

$$fw_k = ew_j \cdot w_{jk} \quad (10)$$

여기서 ew_j 를 통합된 전문가들의 가중치 즉 독립변수라 하고 w_{jk} 는 대안들의 가중치를 의미하고 fw_k 는 최종 가중치를 나타내는 종속변수라 하면 이들 간에는 1차 함수 관계가 성립한다. 즉 ew_j 값만 정해주면 fw_k 값은 계산해 낼 수 있다.

4. 실험 및 평가

본 논문에서는 온톨로지를 “어휘들에 대한 일정 영역의 개념적 예들을 한곳으로 집합시킨 하나의 독립된 집합체”로 정의하고 정보는 웹 애플리케이션에서 고장의 원인과 보급에 대하여 cnet.com[10], eweek.com[11]과 같은 technology 웹사이트 상에 리스트된 웹 사이트 정전 사건과 시스템 고장의 케이스연구를 조사하고 수집하여 고장원인에 대하여 시뮬레이션 하였다.

4.1 전문가별 개념 구성

표 3, 표 4 및 표 5는 전문가 e_1, e_2, e_3 에 의해 제공된 개념 그리드를 나타낸다.

표 3. 전문가 e1의 개념 그리드
Table 3. concept grid of expert e1

개념이름	단위	언어형태	소속함수	개념설명
하드디스크 공간	M Bytes	부족/보통/충분	(10, 30, 50)	자유 디스크 공간
메모리 공간	M Bytes	부족/보통/충분	(100, 300, 500)	자유 메모리 공간
컴퓨터 바이러스	위험순위	1/2/3/4/5	(1, 3, 5)	Trend micro의 바이러스 정보
하드웨어 손상	논리	참/거짓	N/A	컴퓨터 하드웨어상태
정전	-	낮음/보통/높음	(10, 30, 50)	UPS (Uninterrupted Power Supply) 잔여 파워
프로그램 버그	논리	참/거짓	N/A	프로그램의 동작조건
운영체제 고장	논리	참/거짓	N/A	서버 동작상태
CPU 부하	-	낮음/보통/높음	(80, 90, 100)	CPU 부하

표 4. 전문가 e2의 개념 그리드

Table 4. concept grid of expert e2

개념이름	단위	언어형태	소속함수	개념설명
네트워크 부하	-	낮음/보통/높음	(50, 70, 100)	네트워크 부하
CPU 부하	-	낮음/보통/높음	(70, 80, 90)	CPU 부하
메모리 공간	M Bytes	부족/보통/충분	(100, 300, 500)	자유 메모리 공간
해커	위험순위	낮음/보통/높음	(1, 3, 5)	서버에 대한 위험 순위
하드웨어 고장	논리	참/거짓	N/A	컴퓨터 하드웨어상태

표 5. 전문가 e3의 개념 그리드

Table 5. concept grid of expert e3

개념이름	단위	언어형태	소속함수	개념설명
메모리 공간	M Bytes	부족/보통/충분	(100, 300, 500)	자유 메모리 공간
네트워크 부하	-	낮음/보통/높음	(60, 80, 100)	네트워크 부하
정전	-	낮음/보통/높음	(20, 40, 60)	UPS 잔여 파워
프로그램 버그	논리	참/거짓	N/A	프로그램의 동작조건
운영체제 고장	논리	참/거짓	N/A	서버 동작상태
CPU 부하	-	낮음/보통/높음	(60, 70, 80)	CPU 부하

여기서 언어형태 낮음(또는 짧음, 작음, 느림, 부족, 불충분), 보통(또는 평균, 중간) 그리고 높음(또는 김, 큼, 빠름, 충분)은 삼각 퍼지수의 소속 함수로 나타내었다.

4.2 공통 개념 그리드 형성

표 6은 전문가 e_1, e_2, e_3 에 의해 도출된 공통 개념 그리드를 나타내었다.

표 6. 전문가 e1, e2, e3로부터 도출된 공통 개념 그리드
Table 6. common concept grid of expert e1, e2, e3

개념이름	단위	언어형태	소속함수	개념설명
하드 디스크 공간	M Bytes	부족/보통/충분	(10, 30, 50)	자유 디스크 공간
메모리 공간	M Bytes	부족/보통/충분	(100, 300, 500)	자유 메모리 공간
컴퓨터 바이러스	위험순위	1/2/3/4/5	(1, 3, 5)	Trend micro의 바이러스 정보
하드웨어 손상	논리	참/거짓	N/A	컴퓨터 하드웨어상태
정전	-	낮음/보통/높음	(15, 35, 55)	UPS 잔여 파워
프로그램 버그	논리	참/거짓	N/A	프로그램의 동작조건
운영체제 고장	논리	참/거짓	N/A	서버 동작상태
CPU 부하	-	낮음/보통/높음	(70, 80, 90)	CPU 부하
네트워크 부하	-	낮음/보통/높음	(55, 75, 100)	네트워크 부하
해커	위험순위	낮음/보통/높음	(1, 3, 5)	서버에 대한 위험 순위

4.3 전문가별 가중치 계산

각 전문가 e_1, e_2, e_3 는 기존의 세 가지 기준인 과거경험, 배경지식, 관련평판에 감성기준을 추가하여 전문가별 가중치를 계산하였다. 설문 결과 과거경험, 배경지식, 관련평판 그리고 감성의 중요한 비는 각각 0.24, 0.27, 0.24, 0.25로 계산되었고 기준의 중요도는 배경지식 > 감성 > 과거경험 > 관련평판 순으로 나타났다.

$$[e_1, e_2, e_3] = [0.24, 0.27, 0.24, 0.25] \cdot \begin{bmatrix} 0.8 & 0.5 & 0.9 \\ 0.9 & 0.9 & 0.8 \\ 0.7 & 0.7 & 0.8 \\ 0.6 & 1.0 & 0.7 \end{bmatrix}$$

$$= [0.75, 0.78, 0.8]$$

$$[\hat{e}_1, \hat{e}_2, \hat{e}_3] = [0.32, 0.33, 0.35]$$

전문가 e_1 의 가중치는 0.32이고 전문가 e_2 의 가중치는

0.33, 전문가 e_3 의 가중치는 0.35로 전문가 $e_3 >$ 전문가 $e_2 >$ 전문가 e_1 순으로 나타났다.

4.4 퍼지 쌍대비교행렬 구성

표 7은 ‘웹 서버에서 발생할 수 있는 고장’ 문제 영역에 대한 전문가 e_1 으로 부터 작성한 쌍대비교행렬을 나타내었다.

표 7. 전문가 e1의 쌍대비교행렬

Table 7. pair-wise matrix of expert e1

개념 이름	하드 디스크 공간	메모리 공간	컴퓨터 바이러스	하드웨어 손상	정전	프로그램 버그	운영체제 고장	CPU 부하	네트워크 부하	해커
하드 디스크 공간	1	1/7	5	1/5	1/3	1/3	1/7	1/3	5	1/3
메모리 공간	7	1	1/5	1/5	1/7	7	1/5	3	7	7
컴퓨터 바이러스	1/5	5	1	1/3	1/5	7	5	1/3	3	3
하드웨어 손상	5	5	3	1	1/3	1	1/3	7	7	1/5
정전	3	7	5	3	1	5	7	5	1/3	1/3
프로그램 버그	3	1/7	1/7	1	1/5	1	1/7	1/3	1/5	1/3
운영체제 고장	7	5	1/5	3	1/7	7	1	5	5	7
CPU 부하	3	1/3	3	1/7	1/5	3	1/5	1	3	5
네트워크 부하	1/5	1/7	1/3	1/7	3	5	1/5	1/3	1	1/5
해커	3	1/7	1/3	5	3	3	1/7	1/5	5	1

4.5 일관성 비율 분석

표 8은 표 7에서 전문가 e_1 의 쌍대비교행렬의 값이 일관성이 있는지를 검증하기 위해서 일관성 비율 분석단계를 나타내었다.

표 8. 전문가 e1의 일관성 비율 분석

Table 8. consistency ratio analysis of expert e1

개념이름	단계 1	단계 2	개념이름	단계 1	단계 2
하드디스크 공간	1.071	19.537	프로그램 버그	0.474	17.528
메모리 공간	2.180	19.761	운영체제 고장	3.111	19.938
컴퓨터 바이러스	2.244	21.098	CPU 부하	1.483	20.412
하드웨어 손상	2.344	19.571	네트워크 부하	0.905	15.531
정전	3.659	19.779	해커	1.889	17.213

전문가 e_1 에 대한 일관성 비율 분석을 살펴보면 일관성 벡터의 평균값 $\lambda = 19.037$ 이고 일관성 지수 $CI = 1.004$ 이고 일관성 비율은 $CR = 0.692$ 로 계산되었다. $CR > 0.1$ 기 때문에 전문가 e_1 의 쌍대비교행렬은 재구성 과정이 필요함을 알 수 있었다.

재구성된 전문가 e_1 의 쌍대비교행렬에 대한 일관성 비율 분석을 다시 살펴보면 일관성 벡터의 평균값 $\lambda = 11.329$ 이고 일관성 지수 $CI = 0.148$ 이고 일관성 비율 $CR = 0.099$ 로 계산되었다. $CR \leq 0.1$ 기 때문에 개념에 대한 일관성이 우수하다는 것을 알 수 있었다.

이와 같은 방법으로 전문가 e_2, e_3 의 퍼지 쌍대비교행렬을 구성하였고 타당성을 검증하기 위하여 일관성비율분석을 통하여 전문가 e_2 의 쌍대비교행렬에 대한 일관성 비율 분석에서 일관성 벡터의 평균값 $\lambda = 11.216$, 일관성 지수 $CI = 0.135$ 로 $CR = 0.091$ 로 계산되었다. 그리고 전문가 e_3 의 쌍대비교행렬에 대한 일관성 비율 분석에서 일관성 벡터의 평균값 $\lambda = 11.333$, 일관성 지수 $CI = 0.148$ 으로 $CR = 0.099$ 로 계산되어 쌍대비교행렬의 값이 일관성 있게 구성되었다는 것을 알 수 있었다.

4.6 EFAM/Fuzzy AHP 및 전문가별 개념 중요도 비교

표 9는 EFAM/Fuzzy AHP 및 각 전문가들의 개념 중요도를 분석해보았다.

표 9. EFAM/Fuzzy AHP와 전문가별 개념 중요도

Table 9. concept importance of EFAM/Fuzzy AHP and each expert

개념이름	EFAM/Fuzzy AHP	개념 중요도 순위					e_3 와 EFAM/Fuzzy AHP 순위차
		EFAM e_1	Fuzzy AHP e_1	e_2	e_3		
하드 디스크 공간	3	5	5	2	2	-1	
메모리 공간	2	1	2	3	4	2	
컴퓨터 바이러스	1	2	1	1	1	-	
하드웨어 손상	5	4	4	9	3	-2	
정전	9	10	10	10	5	-4	
프로그램 버그	4	3	3	4	7	3	
운영체제 고장	10	7	7	8	9	-1	
CPU 부하	8	6	6	6	10	2	
네트워크 부하	7	9	9	5	8	1	
해커	6	8	8	7	6	-	

표 9에서 가중치가 가장 높았던 전문가 e_3 와 EFAM / Fuzzy AHP의 개념 중요도의 순위간의 차이를 살펴보면 ‘정전’이 4로 가장 큰 차이가 났고 그 다음 ‘프로그램 버그’가 3 차이로 나타났고 ‘메모리 공간’, ‘하드웨어 손상’, ‘CPU 부하’가 2차이로 나타났으며 ‘하드디스크 공간’, ‘운영체제 고장’, ‘네트워크 부하’가 1차이가 남을 알 수 있었다. 그리고 Fuzzy AHP는 개념 중요도를 계산하여 분석한 결과 EFAM과는 전문가 e_1 에서 ‘메모리 공간’과 ‘컴퓨터 바이러스’의 순위가 다른 것을 알 수 있었다. 따라서 ‘웹서버에서 발생할 수 있는 고장’ 문제 영역의 개념의 중요도는 EFAM과 Fuzzy AHP에서 ‘컴퓨터 바이러스’가 가장 높다는 것을 알 수 있었다.

4.7 최종 개념 가중치 계산

감성기준을 고려하여 각 전문가들의 개념 가중치를 통합한 후 최종 개념 가중치들은 식 (9)를 이용하여 도출되었다.

$$[fw_1, \dots, fw_5, \dots, fw_{10}]$$

$$=[0.32, 0.33, 0.35]$$

$$\cdot \begin{bmatrix} 0.072 & 0.212 & 0.195 & 0.082 & 0.040 & 0.177 & 0.060 & 0.062 & 0.049 & 0.050 \\ 0.138 & 0.114 & 0.211 & 0.063 & 0.059 & 0.106 & 0.069 & 0.085 & 0.086 & 0.069 \\ 0.167 & 0.101 & 0.256 & 0.093 & 0.084 & 0.063 & 0.054 & 0.042 & 0.058 & 0.083 \end{bmatrix}$$

$$=[0.1288, 0.1408, 0.2217, 0.0735, 0.0614, 0.1137, 0.0611, 0.0627, 0.0645, 0.0680]$$

참고 문헌

[1] Naoya Kotami and Yukio Kodono, "A Study on AHP using Fuzzy Theory," *20th Fuzzy System Symposium*, 2004.

[2] P. J. M. Laarhoven and W. Pedrycz, "A Fuzzy Extension of Saaty's Priority Theory," *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 11, No. 13, pp. 229-241, 1983.

[3] Ozan Cakir and Mustafa S. Canbolat, "A Web-Based Decision Support System for Multi-Criteria Inventory Classification Using Fuzzy AHP Methodology," *Expert Systems with Applications*, Vol. 35, No. 3, pp. 1367-1378, 2008.

[4] Tien-Chin Wang and Yueh-Hsiang Chen, "Applying Consistent Fuzzy Preference Relation to Partnership Selection," *Omega*, Vol. 35, No. 4, pp. 384-388, 2007.

[5] Tien-Chin Wang and Yueh-Hsiang Chen, "Applying Fuzzy Linguistic Preference Relations to the Improvement of Consistency of Fuzzy AHP," *Information Systems*, Vol. 178, pp. 3755-3765, 2008.

[6] T. L. Saaty, "How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process," *European Journal of Operational Research*, Vol. 48, pp. 9-26, 1990.

[7] C. S. Son and H. M. Chung, "An Emotion Classification Based on Fuzzy Inference and Color Psychology," *International Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems*, Vol. 4, No. 1, pp. 18-22, 2004.

[8] Jacek Malczewski, *GIS and Multicriteria Decision Analysis*, John Wiley & Sons Inc, 1999.

[9] F. Campolongo, J. Cariboni, and A. Saltelli, "An Effective Screening Design for Sensitivity Analysis of Large Models," *Environmental Modelling and Software*, Vol. 22, pp. 1509-1518, 2007.

[10] Rachel Conrad, California power outages suspended-for now, CNET news.com, <http://news.cnet.com/2100-1017-251167.html>, 2001.

[11] Craig Newell, Network Card Theft Causes Internet Outage, <http://www.eweek.com/c/a/Security/Network-Card-Theft-Causes-Internet-Outage>, 2004.

즉 '하드디스크 공간', '메모리 공간', '컴퓨터 바이러스', '하드웨어 손상', '정전', '프로그램 버그', '운영체제 고장', 'CPU 부하', '네트워크 부하', '해커'의 최종 가중치는 각각 0.127, 0.141, 0.222, 0.080, 0.061, 0.114, 0.061, 0.063, 0.065, 0.068로 계산되었다. 표 10은 감성기준을 고려한 경우에 개념들의 구간 범위를 나타내었다

표 10. 개념들의 구간 범위
Table 10. interval range of concepts

개념들	구간 범위
컴퓨터 바이러스	0.2 ~ 0.3
메모리 공간, 하드디스크 공간, 프로그램 버그	0.1 ~ 0.2
하드웨어 손상, 해커, 네트워크 부하, CPU 부하, 정전, 운영체제 고장	0 ~ 0.1

그림 2는 감성기준을 고려한 경우에 개념들의 구간 범위를 계층적으로 나타낸 것으로 '컴퓨터 바이러스'가 0.2에서 0.3구간에 있는 것을 알 수 있다.

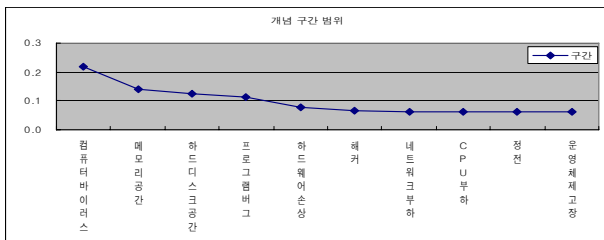


그림 2. 개념들의 구간 범위
Fig. 2. interval range of concepts

5. 결 론

본 논문에서는 의사결정에 관한 요소를 계층화 구조로 나타내는 AHP나 Fuzzy AHP 방법들을 데이터의 관점에서 대안, 평가기준, 주관적 속성가중치, 개념과 객체 사이에 퍼지 관계를 기반으로 더 효과적으로 개선하여 웹 자원을 관리하고 의사결정을 할 수 있는 EFAM 모델을 제안하였다. EFAM은 다수 전문가로부터 개념을 획득하여 공통 개념 그리드를 구성하고 전문가별 과거경험, 배경지식, 관련평판 및 감성에 대한 기준을 가지고 자기-특점을 구한 후 전문가의 가중치를 합하여 퍼지 쌍대비교행렬을 구한다.

쌍대비교행렬의 값은 Saaty의 9점 척도를 사용한 퍼지숫자를 이용하여 각 전문가에 의해 작성된 개념에 대해 일관성 있게 값이 정의되었는가를 검증하기 위해 일관성 비율 분석을 하고 분석결과가 우수하면 각 개념의 상대적 중요도를 기하평균과 가중치로 계산하고 그렇지 않으면 퍼지 쌍대비교행렬을 재구성하여 다시 일관성 비율 분석을 한다.

전문가별 가중치를 정의하기 위한 관련 기준 중 감성기준 고려여부에 의해 EFAM, Fuzzy AHP 방법을 사용하여 개념 중요도를 비교하였고 개념들의 최종 개념 가중치를 계산하여 민감도 분석을 한 후 구간별로 계층화하였다.

향후 연구과제로는 특정 분야에 대한 온톨로지를 여러 분야의 전문가들이 공동 작업을 통해서 설계하여 기존의 통계 및 규칙기반의 텍스트마이닝 기술에 온톨로지 기반 지식 검색 기능을 부여하여 한 단계 발전된 정보 추론을 수행하는 연구가 요구된다.

저자 소개

류경현(Kyung-Hyun Ryu)
19권 2호 참조

피수영(Su-Young Pi)
18권 1호 참조