Fuzzy Delphi 法을 이용한
일반지수 예측 전문가 시스템 구축

김창은*, 최환석**

* 명지대학교 산업공학과
** 명지대학교 대학원 산업공학과

ABSTRACT

전문가 내지 구성원의 주관적인 의견에 의존하는 방법의 하나인 델파이법(Delphi Method)은 관련자료가 불충분한 중·장기 예측, 전략결정 등에 이용되고 있다. 이 방법을 더욱 발전시킨 퍼지 델파이법(Fuzzy Delphi Method)은 델파이법에 퍼지숫자(Fuzzy Number)의 개념을 도입하여 정확한 예측을 하고자 하는 것이다.

또한 이러한 예측치가 삼각 퍼지 숫자(Triangular Fuzzy Number)로 주어져 불확실성에 대한 예측과 의견종합을 쉽게 하며, 전문가에 의해 추정된 삼각 퍼지 숫자의 입력을 통해 그 추정치들의 비유사도(Dissemblance Index)와 퍼지거리(Fuzzy Distance)를 계산하고 간단한 그래프를 다시 전문가에게 피드백(Feedback)할 수 있도록 나타내어지는 과정을 Code화하여 전문가들로 하여금 다양한 정보를 통하여 좀 더 정확한 추정치를 예측하고자 한다.

I. 서론

전문가(Expert) 내지 구성원의 주관적인 의견이나 판단에 의존하는 방법의 하나인 델파이법(Delphi Method)은 관련자료가 불충분한 중·장기 예측, 전략 결정 등에 이용되고 있다. 이 기법의 특징은 브레인 스토밍(Brain Storming)이나 위원회 모임(Panal Decision)과 같이 전문가를 한자리에 모으지 않고 일련의 예측 사안에 대한 의견을 질문서에 각자 밝히도록 하여 전체 의견을 평균치와 여러 가지 통계자료를 통해 표현한다. 전문가들을 한자리에 모으지 않기 때문에 다수의 의견이나 유력자의 발언 등에 의한 심리적 영향을 배제시킬 수 있다는 장점이 있다. 또한 전문가들의 의견을 종합하여 그에 대한 의견을 재차 묻는 것과 같은 피드백(Feedback) 과정을 거듭하여 전문가들의 의견을 좁혀나가며 구하고자 하는 예측치를 추정한다.

본 논문에서는 이 델파이법에 퍼지 숫자(Fuzzy Number)의 개념을 도입한 퍼지 델파이법(Fuzzy Delphi Method)을 응용하여 이를 Code화하여 좀더 빠르고 정확한 일반지수의 예측이 가능하도록 하고자 한다.

II. 퍼지 델파이법(Fuzzy Delphi Method)

퍼지 델파이법은 델파이법에 퍼지 숫자의 개념을 도입하여 좀더 정확한 예측을 하고자 하는 것이다. 퍼지 델파이법에서는 이러한 추정치가 퍼지 숫자중의 하나인 삼각 퍼지 숫자(T.F.N., Triangular Fuzzy Number)로서 주어지게 된다. 이 추정치가 삼각 퍼지 숫자로 주어져야 하는 이유는 아래와 같은 퍼지 숫자의 특징으로 설명되어 진다.

퍼지 숫자(Fuzzy Number)의 특징

(1) 장기 예측에 있어서는 구하고자 하는 예측치와 변화(Random)라는 속성보다 불확실성(Uncertainly)이기 때문에 퍼지 숫자 적용이 매우 유용하다.

(2) 예측하는데 있어서는 전문가의 개인적인 능력과 직관이 의사결정에 중요한 변수로서 작용하기 때문에 퍼지 숫자의 개념을 도입하여야 한다.
(3) 전문가가 예측할 수 있는 지수는 확률(Probability)로서 표현되기보다 삼각 퍼지 숫자처럼 세 가지 추정치로서 표현하는 것이 훨씬 수월하고 유용하다. 또한 전문가 각자의 추정치는 다른 전문가의 추정치와 쉽게 비교되고 종속되어지기 때문에 의견을 종합하기가 훨씬 용이하다.
(4) 퍼지 숫자의 개념을 이용한 여러 가지 지수를 만들어 내어 각 전문가의 추정치가 서로 어느 정도의 유사성을 갖고 있는지 또는 퍼지 거리(Fuzzy Distance)를 계산하여 각 전문가들의 추정치가 각각 어떠한 상관관계를 갖고 있는지 쉽게 파악할 수 있다.

퍼지 델파이법을 적용하기 위한 개략적인 흐름도(Flow Chart)는 다음과 같다.

퍼지 델파이법(Fuzzy Delphi Method)의 절차

퍼지 델파이법은 다음과 같은 순서에 의해서 행하여진다.

(1) 각각의 전문가 i E(1, n)에게 T.F.N.을 사용한 최소치, 최적치(중앙값), 최대치의 세개의 추정치를 요구한다. 전문가로부터 얻어진 추정치인 T.F.N.은

$$(A_1^{(i)},\ B_1^{(i)},\ C_1^{(i)})$$

이며, 1은 예측의 1단계를 표시하고, i는 전문가의 번호를 나타낸다.

(2) n명의 전문가로부터 회답을 얻어 아래와 같은 자료가 형성된다.

$$(A_1^{(i)},\ B_1^{(i)},\ C_1^{(i)}) \quad i = 1, 2, 3, \cdots, n$$

다음으로 T.F.N.으로 표현된 자료의 평균

$$(A_1^{m},\ B_1^{m},\ C_1^{m})$$

을 계산한다.

(3) 평균과 각각의 전문가에 대한 차이를 계산한다.

$$(A_1^{m}-A_1^{(i)},\ B_1^{m}-B_1^{(i)},\ C_1^{m}-C_1^{(i)})$$

(4) 각각의 전문가에게 피드백시켜 다시 새로운 T.F.N.을 요구한다.

$$(A_2^{(i)},\ B_2^{(i)},\ C_2^{(i)})$$

(5) 과정은 다시 (2) 단계로부터 시작하여 반복한다. T.F.N.의 평균이 안정된 시기에 이 과정을 마치게 된다. 그러나 예측에 커다란 영향을 주는 중요한 변수나 사건이 발생하는 경우, 혹은 계산에 지장을 줄 수 있을 정도의 이상치가 발생할 경우에는 위의 과정을 다시 한번 반복하여 새로운 요인을 반영할 경우 재평가도 가능하다.
(6) T.F.N.을 이용하여 각각의 전문가간의 의견의 차이를 거리(Fuzzy Distance)로 구하여 전문가들의 의견을 검토한다.

각 전문가들의 추정치에 대한 의견차이를 조종하기 위한 삼각 퍼지 숫자에 대한 비유사도(Dissemblance Index) 계산을 다음과 같이 전개한다.

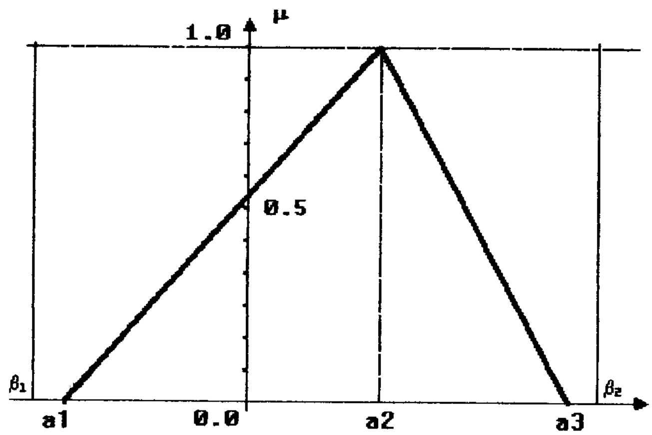
이러한 측정치들을 계산하기 위해서는 다음과 같은 용어들을 미리 정의하여야 한다.

삼각 퍼지 숫자(Triangular Fuzzy Number)

각 전문가들의 의견을 삼각 퍼지 숫자로 모으기 때문에 다음과 같이 정의를 한다. 한 전문가의 의견을 삼각 퍼지 숫자 A = (a1, a2, a3)로 나타낸다면 다음과 같은 그림으로 나타낼 수 있다.

$$\forall\ X,\ a1,\ a2,\ a3 \in R :$$

$$\mu_A(X) = \begin{cases} 0, & X \le a1 \\ (X-a1)/(a2-a1), & a1 \le X \le a2 \\ (a3-X)/(a3-a2), & a2 \le X \le a3 \\ 0, & X \ge a3 \end{cases}$$



추정한 숫자는 3개의 값을 가지는 TFN이다. 이 값들은 가장 확신을 가지고 추정된 a2, 즉 이용률(Utility)이 1의 값을 가지고 다른 2개의 추정치 a1, a2는 0의 이용률을 가지도록 TFN은 설계된다. 고로 이용률은 전문가가 추정한 자신의 값에 대한 본인 신뢰도라고 할 수 있다. 그림에서 보는 바와 같이 0부터 1까지 변하는 2개의 직선이 형성되므로 3개의 퍼지숫자는 그 이용률에 의해서 삼각형의 형태를 이루게 된다.

즉 한 전문가가 추정하기에 a1은 가장 적게 추정할 수 있는 숫자이고 거기에 따른 유틸리티(Utility)는 0(Zero)을 나타낸다. a2는 가장 큰 유틸리티인 1을 갖고, 전문가가 확신을 갖고 나타낼 수 있는 숫자가 된다. a3은 가장 크게 추정할 수 있는 숫자이고 유틸리티는 0이다.

a1과 a2사이에 있는 숫자의 유틸리티는 위 식에 표시된 $\mu_A(X)$로 나타낸다. β_1과 β_2는 T.F.N.의 극한값을 포함할 수 있는 값으로서 $\mu_A(X) = 0$을 만족하는 어떤 x의 값이라도 상관이 없다.

퍼지 거리(Fuzzy Distance)

퍼지 거리는 각 전문가들의 의견 차이를 나타내는 측정치가 된다. 우선 먼저 3명의 전문가들로부터 구한 삼각 퍼지 숫자 A, B, C를 다음과 같이 표시한다고 하자.

$$A = (a1,\ a2,\ a3)$$
$$B = (b1,\ b2,\ b3)$$
$$C = (c1,\ c2,\ c3)$$

이때 거리를 나타내는 함수 $d(X, Y) \in R$, $(X, Y) \in E \times E$이고 다음과 같은 조건을 만족해야만 한다.

$\forall\ X, Y, Z \in E$:

$$d(X, Y) \geq 0$$
$$(X = Y) \Rightarrow (\ d(X, Y) = 0\ )$$
$$d(X, Y) = d(Y, X)$$
$$d(X, Z) \leq d(X, Y) * d(Y, Z)$$

* 표시는 거리를 나타낸다.

왼쪽(최소치)에 대한 거리는

$$\nabla_l(A, B) = |\ a1,\ b1\ |$$

로 나타내고, 오른쪽(최대치)에 대한 거리는

$$\nabla_r(A, B) = |\ a3,\ b3\ |$$

로 표시된다.

또한, 위에서 정의한 거리(Distance)에 대하여 다음과 같은 사항을 구할 수 있다.

$\forall\ A, B, C \in R$:

1. $\nabla_l(A, B) \geq 0$, because $|\ a1 - b1\ | \geq 0$
2. $\nabla_l(A, B) \Rightarrow (\ \nabla_l(A, B) = 0\ )$, because $(a1 = b1) \Rightarrow (\ |\ a1 - b1\ | = 0)$
3. $\nabla_l(A, B) = \nabla_l(B, A)$, because $|\ a1 - b1\ | = |\ b1 - a1\ |$
4. $\nabla_l(A, B) \leq \nabla_l(B, A) + \nabla_l(B, C)$, because $|\ a1 - c1\ | \leq |\ a1 - b1\ | + |\ b1 - c1\ |$

두개의 추정치에 대한 거리(Distance)는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\nabla(A,\ B) = \nabla_l(A,\ B) + \nabla_r(A,\ B)$$

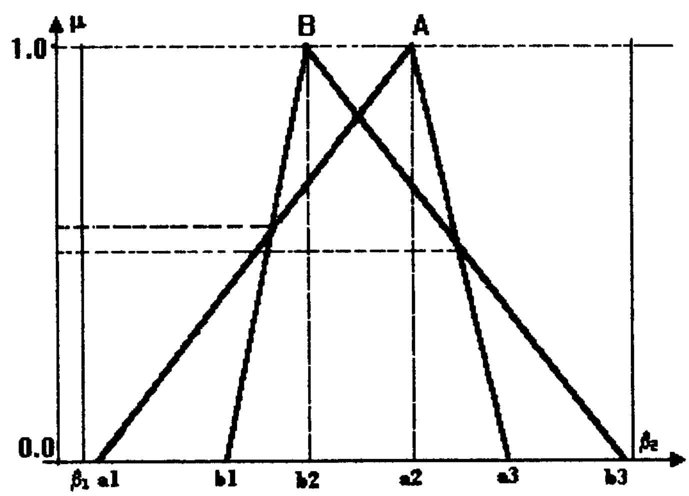
평준화 거리(Normalized Distance)는 다음과 같이 정의한다.

$$\delta(\mathrm{A},\mathrm{B}) = \frac{d(\mathrm{A},\mathrm{B})}{2(\beta_2-\beta_1)}, \qquad 0 \leq \delta(\mathrm{A},\mathrm{B}) \leq 1$$

β_2, β_1은 아래 그림에 나타난 것처럼 $\mu_A(X) = 0$, $\mu_B(X) = 0$도 될 수 있는 어떠한 X라도 상관없다.

따라서 아래의 그림에서 보이는 두개의 퍼지 숫자 사이의 거리는 다음과 같이 계산되어 진다.

$$\begin{aligned} \beta(A,B) &= \int_0^1 \delta(A_\alpha, B_\alpha)\ d_\alpha \\ &= \frac{1}{2(\beta_2-\beta_1)} \int_0^1 \nabla(A_\alpha, B_\alpha)\ d\alpha \\ &= \frac{1}{2(\beta_2-\beta_1)} \int_0^1 (|a1(\alpha)-b1(\alpha)|+|a3(\alpha)-b3(\alpha)|)\ d\alpha \end{aligned}$$



또한 전문가들로부터 추정된 T.F.N.에 대하여 다음과 같은 선형 순위(Linear Order)를 정함으로써 자신의 추정치의 치우친 정도와 범위를 다른 추정치와 비교해 볼 수 있도록 하였다.

퍼지 숫자의 선형 순위(Linear order)

세개의 T.F.N.으로 구성된 퍼지 숫자를 선형으로 배열하는 것은 그리 커다란 의미가 없어 보이지만 추정치를 제시한 전문가들에게는 다른 사람의 의견을 참고로 자신의 의사를 표현하는 것이 되므로 다른 전문가들의 추정치와 자신의 추정치를 비교해 볼 수 있는 방법을 제시해 주기 위해서 선형 순위를 알려주게 된다. 이를 위해 이전(Removal), 중앙값(Mode), 차이(Divergence)의 3가지의 다음과 같은 기준을 정해두고 이에 따라 T.F.N.의 선형 순위를 구하게 된다.

i) 이전(Removal, A′) : TFN은 3개의 숫자로서 이용률(Utility)에 따라 삼각형의 형태를 이루게 된다. 이 TFN들의 선형순위를 결정하기 위해 하나의 점으로 집약시킨다. 이 점 A′은 TFN으로 이루어진 삼각형의 무게중심이고 삼각형의 높이가 1로서 일정하므로 이용률 0.5인 직선 상에 위치하게 되어 선형순위를 결정할 수 있다.

ii) 중앙값(Mode, M′) : 한 전문가가 추정한 3개의 추정치 중에서 1의 이용률을 가지는 추정치, 즉 최적치라고 추정되어진 값, a2를 말한다. 이전(Removal)에 의해 결정된 선형순위중 동일한 값이 있을 경우 이용률 1을 가지는 최적치(a2)의 순위로서 그 TFN들의 선형순위를 결정한다.

iii) 차이(Divergence, D′) : 3개의 추정치 중에서 | a1 - a3 |의 크기가 클 경우 추정치의 신빙성은 떨어지게 된다. 따라서 차이(Divergence)는 상기한 2개의 방법으로도 순위가 결정되지 않은 경우에 신빙성이 떨어지는, 즉 D′의 크기가 큰 경우에 낮은 순위를 주는 경우이다.

이 세 가지는 선형 순위를 결정하는 별도의 방법이지만 세 가지를 동시에 사용하면 그 순위를 정하는 일괄적인 방법으로 사용할 수 있게 된다. 이 방법들을 이용하여 선형 순위를 결정하는 방법은 먼저 추정된 T.F.N. A = (a1, a2, a3)에 대하여 퍼지 삼각형을 대표할 수 있는 한 점으로 나타낸다. 이를 위해서 퍼지 삼각형을 하나의 값으로 이전(Removal)시킨다. 이전된 값을 A'이라 하면

$$A' = \frac{a1 + 2a2 + a3}{4}$$

로 나타낼 수 있다. 각 T.F.N.들의 A'으로 이루어진 class로 일단 순위를 정한다. 이 class를 형성한 값들 중에서 같은 class에 속하는 값이 여러 개가 생길 경우 그것들의 중앙값(Mode)을 비교하여 순위를 정하여 sub-class를 형성한다. 이 sub-class에서 중앙값이 같은 T.F.N.이 있을 경우에 최소치와 최대치간의 차이(Divergence)로서 sub-sub-class를 형성하여 각 T.F.N.의 순위를 최종적으로 결정한다.

이 T.F.N.의 선형 순위는 예측된 추정치의 정확성에 대한 순위를 가리키는 것이 아니라 다른 사람의 의견에 비해서 내 의견이 한쪽으로 치우쳐 있지는 않은지, 혹은 내 의견이 다른 추정치들에 비해서 너무 넓은 범위를 추정하고 있지는 않은지를 순위로서 그 범위만을 알 수 있게 함으로서 재추정시에 자신의 세개의 추정치에 대한 범위와 다른 추정치들과의 유사성을 짐작토록 하는데 도움을 줄 것이다.

IV. 결론

본 논문에서는 퍼지 델파이법을 이용하여 전문가에 의해 추정된 삼각 퍼지 숫자의 입력을 통해 그 추정치들의 퍼지거리와 비유사도를 계산하고, 선형 순위(Linear Order)를 간단한 그래프와 함께 다시 전문가에게 Feedback할 수 있도록 하는 과정을 Code화함으로써 전문가들로 하여금 다양한 정보를 통하여 좀 더 정확한 추정치를 예측하는데 도움을 주는 의사 결정 지원 시스템(Decision Support System)을 구축하였다. 향후 이 논문에 사용된 알고리즘(Algorithm)과 Code가 좀더 향상된 입출력 Form으로 발전된다면 추정치들의 비유사도를 간단한 조작을 통해 많은 정보를 쉽게 얻을 수 있다.

V. 참고문헌

1. Lindstone H. and M. Turroff, *"The Delphi Method, Technology and Applications"*, Wesley, 1975.
2. Kauffmann A. and Gupta M.M., *"Introduction to Fuzzy Arithmetic, Theory and Applications"*, Van-Nostrand Reinhold, New York, 1985.
3. Kauffmann A. and Gupta M.M., *"Fuzzy Mathematical Models in Engineering and Management Science"*, North-Holland, 1988.