

퍼지 다속성 의사결정문제의 감도해석을 이용한 최적전원구성에 관한 연구

송길영* 차준민* 김용하**

* : 고려대학교 전기공학과

** : 인천대학교 전기공학과

A Study on Best Generation Mix using Sensitivity Analysis of
Fuzzy Multi Attribute Decision Making

K. Y. SONG* J. M. CHA* Y. H. KIM**

* : Dept. of Electrical Engineering KOREA UNIVERSITY

** : Dept. of Electrical Engineering INCHON UNIVERSITY

Abstract

Best generation mix belongs to a multi attribute decision making, because we should consider many uncertain factors and choose the best one of the alternatives. Sugeno's fuzzy integral has been used as the solution of multi attribute decision making, but the exact value of the coefficient λ has not known yet which is needed to calculate fuzzy measure. This paper proposes the new method to calculate fuzzy measure without fixing the value of λ . The proposed method considers λ as a probability distribution function and calculates expectation of fuzzy measure. The method is applied to the test system and the validity of the method is verified.

1. 서론

최적전원구성문제는 미래의 불확실성을 고려하여 설정한 여러가지 미래상황에 맞게 제한된 대체안들중에서 하나의 최적안을 찾는 다속성 의사결정문제이다. 이의 해법으로 제안된 Sugeno 퍼지적분은 하나의 대체안에 대해 각 평가항목별로 평가한 평가치를 의사결정자의 평가항목에 대한 주관적 선호도를 의미하는 중요도 및 각 평가항목간의 상관관계를 나타내는 상관계수로 정해지는 퍼지측도와 종합하여 그 대체안의 종합평가를 구해서 이 종합평가가 가장 큰 대체안을 최적으로 결정하는 방법이다. [1] 이때 의사결정자가 직접 정해주어야 하는 평가항목 상관계수는 그 성질과 범위는 알려져 있지만 실제로 이 값을 얼마로 지정해 주어야 하는가는 알려져 있지 않다.

그러므로 본 연구에서는 상관계수의 감도해석을 통하여 상관계수가 퍼지측도의 구성에 어떠한 영향을 미치는지를 파악하고 상관계수를 확률분포함수의 일종인 포아슨분포함수로 취급하여 확률적 기대치를 구하여 퍼지측도값을 계산하는 방법을 제안한다. 제안한 방법을 이용하면 중요도의 감도행렬을 이용하여 최적안의 결정 특성을 알 수 있어 중요도에 대한 검증은 할 수 있다.

본 연구에서 제안한 퍼지측도 계산 방법을 실제용의 최적전원구성문제에 적용하여 그 유용성을 검증하였다.

2. 퍼지 다속성 의사결정문제의 정식화

Sugeno 퍼지적분을 이용하여 퍼지 다속성 의사결정문제를 해결하기 위하여서는 우선 각 대체안에 대해 평가항목별 평가치를 구하고 의사결정자가 평가항목 상관계수와 중요도를 정하여 퍼지측도값을 구하여 이들을 종합하여 종합평가치를 구한다. [2]

2.1 평가치의 계산

일반적으로 최적전원구성문제는 평가항목이 주로 경제성과 신뢰성 위주로 되었으나 최근 환경오염이나 부하추종성등과 같은 다양한 문제들이 중요한 관심사로 대두됨에 따라 이러한 문제까지도 고려할 수 있는 의사결정방법에 대한 필요성이 증가하고 있다.

따라서 본 연구에서는 상대적 만족도의 개념을 제안하여 0에서 1사이의 값으로 만족도를 나타내는 퍼지이론의 멤버십 함수를 이용하여 평가결과를 정규화한다. 평가항목이 비용이나 사고율등과 같이 평가결과값이 작을수록 정책입안자의 만족도가 커지는 경우는 식 (1)로 평가치를 정규화하고, 평가항목이 효용치나 신뢰도등과 같이 평가결과값이 클수록 정책입안자의 만족도가 커지는 경우는 식 (1)의 보족관계로 보아 식 (2)의 정규화 과정으로 평가치를 구한다.

$$EVL(i, j) = \frac{R_{max} - result(i, j)}{R_{max} - R_{min}} \quad (1)$$

단, $result(i, j)$: i 번째 대체안의 j 번째 평가항목에 대한 평가결과

$$R_{max} = \max_{i=1, \dots, m} \{result(i, j)\}$$

$$R_{min} = \min_{i=1, \dots, m} \{result(i, j)\}$$

m : 대체안의 수

$$EVL(i, j) = 1 - \frac{R_{max} - result(i, j)}{R_{max} - R_{min}} \quad (2)$$

2.2 퍼지측도의 구성

측도란 어느 대상을 집합이라고 생각하고 그 부분집합의 양을 계량하는 「자, 척도」로 정의되는 것으로서, 두 부분집합간의 밀접도를 의미하는 상관계수 λ 를 도입하여 비가법성을 반영한 λ -퍼지측도 $g_\lambda(\cdot)$ 은 식 (3)으로 정의된다. [2]

이때 j 번째 평가항목까지 고려한 λ -퍼지측도의 일반식은 식 (4)와 같다.

$$g_\lambda(A \cup B) = g_\lambda(A) + g_\lambda(B) + \lambda \cdot g_\lambda(A) \cdot g_\lambda(B) \quad (3)$$

단, λ : 평가항목 상관계수 ($-1 < \lambda < \infty$)

$$g_\lambda(j) = g_\lambda(j-1) + W_j \cdot C + \lambda \cdot g_\lambda(j-1) \cdot W_j \cdot C \quad (4)$$

단, W_j : j 번째 평가항목의 중요도

C : 퍼지측도의 유계성 승수 (> 0)

$g_\lambda(j) = 0, (j \leq 0 \text{ 일때})$

식 (4)에서 C 는 퍼지측도의 조건인 유계성을 만족시키기 위한 유계성승수이다. 평가항목 상관계수와 중요도를 정해주면 식(4)는 유계성승수만이 남아 C 의 함수로 표현되는데 이 C 의 해를 구해야만 최종적인 퍼지측도값을 알 수 있다.

퍼지측도의 조건인 유계성으로부터 식 (5)의 결과를 유도할 수 있다. 즉, n 개의 평가항목 전체에 대한 퍼지측도 $g_\lambda(n)$ 은 반드시 1이어야 하므로 식 (6)의 방정식을 풀어 C 를 구한 뒤 이것을 다시 $g_\lambda(1), \dots, g_\lambda(n)$ 에 대입하면 퍼지측도값을 구할 수 있다.

$$g_\lambda(n) = 1 \quad (5)$$

$$f(C) = 0 \quad (6)$$

단, $f(C) = g_\lambda(n) - 1$

2.3 퍼지적분

Sugeno 퍼지적분은 식 (7)로 정의되며 이것은 j 번째 평가치와 j 번째 평가항목까지 고려한 퍼지측도값중 최솟치를 취한 뒤 그 값중에서 최대치를 선택하는 것을 의미하는데, 이 값이 퍼지적분값으로 대체안의 종합평가치를 의미한다. [3]

대체안을 ALT(i)라 하면 최적안 ALT*는 식 (8)로 정의된다.

$$TOEF(i) = \max_{j=1, \dots, n} \{ \min(EVL(i, j), g_{\lambda}(j)) \} \quad (7)$$

단, TOEF(i) : i번째 대체안의 종합평가치

$$ALT^* = \max_{i=1, \dots, m} \{ TOEF(i) \} \quad (8)$$

3. 퍼지측도의 감도해석

본 연구에서는 상관계수의 감도해석을 통하여 상관계수가 퍼지측도값에 어떠한 영향을 미치는지를 분석하고 상관계수를 확률분포로 취급하여 퍼지측도의 기대치를 구하였다. 평가항목들은 언제나 상승관계가 성립한다고 가정하여 $\lambda \geq 0$ 인 범위에 대해 고찰한다.

3.1 평가항목 상관계수의 감도해석

본절에서는 퍼지측도식의 두 매개변수 중 하나인 중요도는 상수로 고정시키고 상관계수만을 변수로 취급하여 λ 를 변화시키면서 그때의 퍼지측도식의 유계성승수의 해 C를 구하여 보면 그림 1과 같이 λ 의 증가와 더불어 감소해 나가는 궤적을 그린다. 즉, λ 값을 증가시킬수록 C는 0에 수렴하고, λ 값이 0에 가까울수록 C는 증가한다. 이 관계를 식 (4)에 대입하면 C가 0에 가까울수록($\lambda \rightarrow \infty$) 퍼지측도값은 0에 수렴하고 C가 증가할수록($\lambda \rightarrow 0$) 퍼지측도값이 커진다.

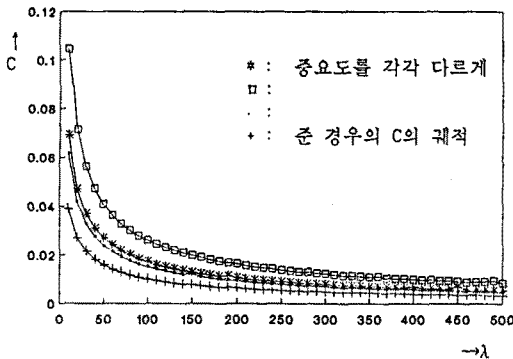


그림 1 중요도를 고정시키고 λ 를 변화시키면서 구한 C

여기서, 퍼지측도의 최소값은 C가 0에 수렴할 때이므로 이때 퍼지측도값도 0에 수렴한다. 단, n개 전체 평가항목의 퍼지측도식은 유계성을 만족시켜 주기 위하여 반드시 1이어야 하므로 j번째 퍼지측도의 최소값 $g_{\lambda}(j)_{\min}$ 은 식 (9)로 표현된다. j번째 퍼지측도의 최대값 $g_{\lambda}(j)_{\max}$ 은 $\lambda=0$ 의 조건을 식 (9)에 대입하면 식(10)과 같이 구할 수 있다.

$$g_{\lambda}(j)_{\min} = \begin{cases} 0, & 1 \leq j \leq n-1 \\ 1, & j=n \end{cases} \quad (9)$$

$$g_{\lambda}(j)_{\max} = \left(\sum_{i=1}^j W_i \right) C \quad (10)$$

단, $C = \left(\sum_{i=1}^n W_i \right)^{-1}$

3.2 포아슨 분포를 이용한 퍼지측도값의 계산

문헌[1]에 의하면 λ 를 0에서 10 사이의 값으로 정하여 그때 최적안이 결정되는 특성을 파악하여 대략 0에서 10사이의 임의의 값으로 정하고 있다. 그러나, λ 값이 바뀌면 퍼지측도값이 바뀌어서 퍼지적분 결과가 달라져 상이한 최적안이 결정될 수 있다. 본 연구에서는 확률밀도함수를 이용하여 퍼지측도의 확률적 기대치를 구하고 이값을 퍼지측도값으로 취하였다. 평가항목간의 상관계수는 여러 확률분포함수중 합수 자체가 이산함수로 감마분포함수등의 다른 연속확률밀도함수에 비해 다시 이산화할 필요가 없고, 발생확률이 가장 높다가 가정할 λ 를 계수 a로 정해주면 k=1에서의 발생확률이 최대가 되는 확률분포함수를 구성할 수 있기 때문에 식 (11)의 포아슨분포함수를 이용하여 확률밀도함수로 취한다. [4]

$$P(k) = \frac{a^k}{k!} e^{-a}, \quad k=0, 1, 2, \dots \quad (11)$$

이때 실제로 $k \rightarrow \infty$ 까지 계산을 할 수 없지만 퍼지측도값과 포아슨 분포함수 모두 k가 증가할수록 0에 수렴하므로 식 (12)의 $g_{\lambda}(j)$ 도 일정한 값으로 수렴함을 알 수 있다. 따라

서 λ 를 0에서 부터 증가시키며 퍼지측도값을 구하여 식 (13)의 수렴조건을 만족시키면 이 값을 퍼지측도의 확률적 기대치로 정한다.

$$g_{\lambda}(j) = \sum_{k=0}^{\infty} (g_{\lambda}(j)^k \cdot \text{Poisson}(k)) \quad (12)$$

단, $g_{\lambda}(j)^k$: $\lambda=k$ 일 때 j번째 퍼지측도값

Poisson(k) : 포아슨 확률밀도함수에 따른 $\lambda=k$ 의 발생확률

$$g_{\lambda}(j)^{k+1} - g_{\lambda}(j)^k \leq \epsilon \quad (13)$$

단, $g_{\lambda}(j)^k$: $\lambda=0$ 에서 k까지 고려한 퍼지측도값
 ϵ : 수렴판정조건 (>0)

3.3 중요도의 변화에 따른 감도해석

의사결정자가 중요도를 정할 때 불확실성으로 인하여 어떤 평가항목의 중요도에 대해서는 확신을 갖지 못하는 경우도 있다. 이때 중요도를 구간으로 정하여 중요도가 바뀔 때 따라 어떤 최적안이 결정되는가 하는 유형을 알게 되면, 의사결정자가 중요도를 정할 때 더 높은 확신을 갖고 중요도를 정할 수 있다.

그러나 평가항목의 수가 늘어남에 따라 퍼지측도식은 방정식의 차수가 증가하여 유계성승수 C의 해를 구하는데 많은 계산시간이 소요되고 중요도의 고려대상구간을 넓게하면 퍼지측도식의 계산횟수가 기하급수적으로 증가하게 된다. 그러므로, 중요도의 감도해석을 통하여 중요도의 변화에 따른 퍼지측도식의 변화분을 계산할 수 있는 감도행렬을 구성하면 중요도가 바뀌었을 때 일일이 퍼지측도값을 다시 계산하지 않고 퍼지측도값의 변화분만을 구하여 새로운 퍼지측도값을 알 수 있다. 퍼지측도식의 중요도에 대한 감도행렬식은 식 (14)로 정의된다.

$$[\Delta g_{\lambda}()] = [A][\Delta W]$$

$$\begin{bmatrix} \Delta g_{\lambda}(1) \\ \Delta g_{\lambda}(2) \\ \vdots \\ \Delta g_{\lambda}(n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{dg_{\lambda}(1)}{dW_1} & \frac{dg_{\lambda}(1)}{dW_2} & \dots & \frac{dg_{\lambda}(1)}{dW_n} \\ \frac{dg_{\lambda}(2)}{dW_1} & \frac{dg_{\lambda}(2)}{dW_2} & \dots & \frac{dg_{\lambda}(2)}{dW_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{dg_{\lambda}(n)}{dW_1} & \frac{dg_{\lambda}(n)}{dW_2} & \dots & \frac{dg_{\lambda}(n)}{dW_n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta W_1 \\ \Delta W_2 \\ \vdots \\ \Delta W_n \end{bmatrix} \quad (14)$$

이 감도행렬을 이용하면 중요도의 변화에 따른 최적안의 결정 형태를 알 수 있게 되어 결정되는 최적안이 변화가 없다면 그 구간의 어떤 값으로 중요도를 정해도 같은 결과를 보임을 알 수 있고, 최적안이 바뀌는 경우라면 그 경계점을 알 수 있으므로 경계점을 기준으로 나누어진 소구간을 비교하여 그 소구간중에서 합당하다고 생각되는 소구간을 중요도로 정하여 최적안을 결정할 수 있다.

4. 사례연구

본 연구의 사례연구를 위한 각 대체안의 전원구성비율은 한전 전원계획처의 "장기전력수급계획안"에서 채택된 3개안을 기준으로 하여 이 전원구성비율의 상·하한을 5%씩 추가한 10개안(표1)을 작성하여 이를 대상으로 사례연구를 실시하였다. 신규대체설비의 전원으로서는 에너지 정책에 의거하여 석유는 고려하지 않고 원자력, 석탄, LNG, 수력의 네가지로 한정하며, 수력은 국내 수력자원의 한계등을 고려하여 10%로 고정시켰다.

평가항목은 건설비, 연료비, 신뢰성 및 부하중성상과 최근 점차 증가하는 환경오염 문제를 고려하기 위하여 환경제약에 대한 효용의 다섯가지로 정하였다.

표 1 각 대체안의 전원구성비율 [%]

대체안	원자력	석탄	LNG	수력
ALT(1)	35	25	30	10
ALT(2)	30	30	30	10
ALT(3)	35	30	25	10
ALT(4)	35	35	20	10
ALT(5)	35	40	15	10
ALT(6)	40	25	25	10
ALT(7)	40	30	20	10
ALT(8)	40	35	15	10
ALT(9)	45	25	20	10
ALT(10)	45	30	15	10

4.1 평가치 계산

다음에 주어지는 데이터는 상술한 “장기전력수급계획안”의 데이터를 사용하였다. [5] 각 전원별 건설비, 연료비, 사고정지율(f.o.r.) 및 부하추중성에 대한 멤버십값은 표 2로 주어진다. 그리고 환경제약에 대한 전원별 멤버십값은 표 3으로 정한다.

표 2 전원별 입력 데이터

항목	건설비	연료비	f.o.r. [%]	부하추중성에 대한 멤버십값
전원	[천원/KW]	[원/KW]	(FOR)	(LOADF)
원자력	1,246	3.78	9.0	0.5
석탄	696	14.82	9.5	0.8
LNG	433	27.22	10.0	1.0
수력	450	8.20	4.0	0.7

표 3 환경제약에 대한 멤버십값

	업격(F ₁)	불편(F ₂)	완화(F ₃)
원자력	0.8	0.9	1.0
석탄	0.3	0.6	1.0
LNG	0.6	0.8	1.0
수력	1.0	1.0	1.0

1번째 대체안의 건설비, 연료비, 신뢰성, 부하추중성에 대한 평가 결과는 표 2, 3의 데이터를 문헌 [6]을 이용하여 식 (1), (2)와 같이 구한다. 주어진 데이터를 대입하여 구한 각 대체안의 평가항목별 평가치 계산결과를 그림 2에 보인다.

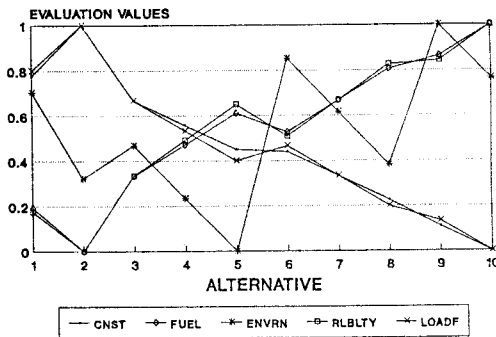


그림 2 각 대체안의 평가항목별 평가치 계산결과

4.2 최적안의 결정

퍼지적분을 이용하여 각 대체안의 종합평가치를 구하기 위하여 각 평가항목의 중요도를 표 4와 같이 정한다. λ 값의 변화에 따른 퍼지측도값을 각각 구한 뒤, 3.2절에서 설명한 식 (12), (13)의 과정을 통하여 포아슨 분포함수를 이용하여 퍼지측도의 확률적 기대치를 구한다. 그 일례로서 1번안의 첫 번째 퍼지측도를 구하는 과정을 그림 3에 보인다. 이때 포아슨 분포함수는 λ 가 대략 3이 될 가능성이 가장 높다고 가정하여 $a=3$ 인 경우로 하여 퍼지측도를 구하고 식 (7)의 퍼지적분 과정을 통하여 각 대체안의 종합평가치를 구한다. 모든 대체안에 대해서 동일한 방법으로 종합평가치를 구하여 그 값이 가장 큰 대체안이 최적안으로 되는 것이다.

각 대체안의 종합평가치 TOEF(i)를 구하여 그 결과를 그림 4에 보인다. 그림 4에서 종합평가치가 가장 큰 4번안이 최적안으로 선정되었으며 이때의 전원 구성비율은 표 1로부터 원자력, 석탄, LNG, 수력이 각각 35, 35, 20, 10[%]임을 알 수 있다. 이것은 중요도를 정할 때 신뢰도와 부하추중성의 중요도를 다른 평가항목보다 비교적 높게 주었기 때문에 석탄의 비율이 기존의 결과인 30%보다 증가한 35%, 원자력의 비율은 40%에서 감소한 35%로 결정되었다.

표 4 각 평가항목의 중요도

평가항목	중요도(W _j)
건설비	0.7
연료비	0.5
환경제약	0.4
신뢰도	0.9
부하추중성	0.7

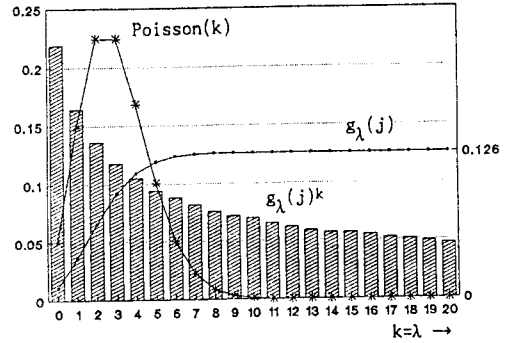


그림 3 λ 의 변화에 따른 퍼지측도값과 포아슨 분포함수를 이용한 퍼지측도의 확률적 기대치

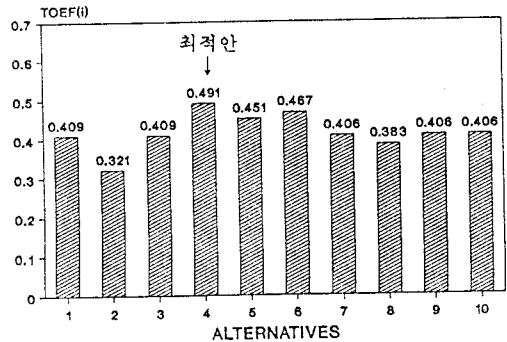


그림 4 각 대체안의 종합평가치

5. 결론

최적전원구성문제를 해결하기 위한 다속성 의사결정 문제의 해법으로서 포아슨분포에 의한 퍼지측도 계산법을 제안하여 한전 실계통의 최적전원구성 문제에 적용시켜 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- [1] 전력계통의 최적전원구성문제를 풀기 위하여서는 미래에 대한 불확실성과 의사결정자의 주관적 판단을 반영하여야 한다. 이것을 해결하기 위하여 본 연구에서는 퍼지 다속성 의사결정문제를 이용하여 최적전원구성문제의 해법을 구하였으며 이를 실계통에 적용시켜 그 유용성을 검증하였다.
- [2] 다속성 의사결정문제에서의 퍼지측도를 구할 때 상관계수의 범위와 발생가능성등을 반영할 수 있는 포아슨분포함수를 이용하여 퍼지측도의 확률적 기대치를 구하므로써 이를 해결하였다.
- [3] 본 연구에서 제안한 퍼지측도 계산 방법은 중요도를 구간으로 정해 주더라도 감도행렬을 이용하여 퍼지측도의 계산이 가능하여 의사결정자가 중요도를 정할 때 어떤 평가항목에 대해서 확신이 서지 않는 경우 그 중요도를 구간으로 주어 중요도를 변화시킬에 따라 최적안이 결정되는 특성을 검증하여 최종적인 최적안을 결정할 수 있게 되었다.

참고문헌

- [1] 關根泰次 外, “電力系統工學の新しい方向”, 日本電氣學會雜誌, 1979.
- [2] 이광형, 오길록, 퍼지이론 및 응용(1권), 홍릉과학출판사, 1991, pp.9.26-9.35
- [3] 本多中二, 大里有生, FUZZY工學入門, 日本海文堂出版株式會社, 1989, pp.119-135
- [4] Alberto Leon-Garcia, “Probability and Random Process for Electrical Engineering”, Addison-Wesley Publishing Company, 1989, pp.117-120
- [5] 한전 전원계획처, 장기전력수급계획안, 1990, pp.87-95
- [6] 송길영, 차준민, 오광해, 김용하, “입안자의 주관을 고려한 최적전원구성에 관한 연구 -실계통에서의 적용-”, 대한전기학회 학회 학술대회 논문집, 1992년, pp.93-95