

# AHP를 이용한 대안평가에서 가치함수 도입에 관한 연구 - A Study on the introduction of value functions for assessing alternatives with AHP -

이 병 욱\*  
정 수 일\*\*

## Abstract

AHP is a competent methodology for multicriteria decision-making such as selection of technology in research laboratory, which requires the consideration of both quantitative and qualitative factors. This paper considers prioritization of technology alternatives using value functions for evaluating quantitative factors in AHP. Value functions are useful for the reducing questionnaires in this paper.

### 1. 서론

여러가지 개발 가능한 기술대안 가운데 어떠한 기술을 선정하여 개발할 것인가는 중요한 문제이다. 이러한 기술대안은 여러가지가 있을 수 있으며, 각 대안을 평가할 때도 다수의 요인을 복합적으로 고려하여 의사결정을 하여야 한다. 예를 들어 원자력 사업에서의 기술의 선정에 관한 의사결정에는 국제 정치, 국내 사회, 경제, 기술 측면 등을 고려하여야 한다. 이러한 문제는 수학적 모델에만 의존하여 해결하기가 곤란하므로 정성적인 평가기준을 적절히 정량화하는 것이 필요하며, 여러 기준을 고려하여야 하기 때문에 체계적인 문제해결 방안이 필요하다. 이상의 문제는 다기준 의사결정 문제에 해당하며, 각 대안을 평가 기준에 의하여 평가하여 가장 좋은 대안을 선택하는 것으로서, 각각의 평가 기준에는 평가 기준간의 상대적인 중요도를 나타내는 가중치의 결정이 의사결정에 중요한 영향을 미친다[2].

이러한 의사결정에서 cross-impact analysis, opinion measurement techniques, scenario generation, analytic hierarchy process 등은 정성적인 요인의 평가에 매우 유용한 도구이며, cost/benefit analysis, payback period computation 등은 정량적인 요인의 평가에 매우 유용한 도구로 평가받고 있다.

그러나 일반적으로 이러한 기법들은 정량적 요인과 정성적 요인을 동시에 취급할 수 없다. 따라서 의사결정자나 의사결정 분석자들은 다음의 것들 중 하나를 따라야 한다[6].

① 정성적 또는 정량적모형중 하나를 선택하고 다른 종류의 요인은 무시한다. ② 정량적 모형을 선정하고 정성적 요인에 대해서는 임의의 정량적 수치를 부여한다. ③ 정성적 모형을 선정하고 정량적 및 정성적 요인들을 정성적으로 취급한다. ④ 정성적 및 정량적 요인을 분리하여 분석하고 적절한 모형을 이용하여 통합한다.

여기서 첫번째 대안은 정량적 요인 및 정성적 요인 모두 다 의사결정에서 중요하기 때문에 차별적이며, 두번째 대안은 인위적이며 잘못된 결과로 유도될 수 있다. 세번째 대안은 정확한 정량적 요인을 부정확하게 만들 수 있으며 분석자의 의도에 따라 결과가 변할 수 있다. 따라서

\* 인하대학교 산업공학과 박사과정/한국원자력연구소 선임연구원

\*\* 인하대학교 산업공학과

네번째 대안이 가장 적합한 것으로 지적되고 있다[6].

본 연구는 계층화 의사결정법(AHP)를 이용하여 다수의 평가기준이 포함된 기술개발의 대안을 평가할 때 정성적 요인은 AHP에 의존한다고 가정하고 정량적인 요인의 가중치는 가치함수(value function)를 도입하여 구하고자 한다. 이를 위해 원자력발전에서의 핵연료 종류에 따른 발전단가를 예로 들어서 설문을 실시하여 각 대안들간의 중요도를 도출한 결과와 가치함수를 도입하여 구한 결과를 비교/분석하였으며, 또한 가치함수를 도입하지 않고 AIIP에서 사용하는 가중치 척도, 즉 제일 유리한 대안에 9의 가중치를 두고 제일 불리한 대안에 1의 가중치를 부과하였을 때의 결과를 비교/분석하여 가치함수의 도입 타당성을 보였다.

## 2. 정성적 요인의 가중치 도출

계층화 의사결정 기법은 1970년대 초반 T. L. Saaty에 의해 개발되었으며, 그 후 부터 많은 이론 및 응용연구가 진행되고 있다. 이러한 응용연구 대부분의 경우 의사결정 문제에서 중요한 영향을 미치는 정성적인 요인을 포함하고 있다[4].

대부분의 의사결정 문제는 상충되는 다수의 기준하에서 최적의 대안이나 대안들의 우선순위를 정하는 문제를 내포하고 있는데 AHP는 이와 같은 다기준 의사결정문제 즉, 다수의 대안, 다수의 평가기준, 다수의 의사결정 주체가 포함되어 있는 의사결정 문제를 계층화한 후, 상위 계층에 있는 한 요인(또는 기준)의 관점에서 직계 하위계층에 있는 요소들의 상대적 중요도 또는 가중치를 쌍별비교에 의해 측정하여 최종적으로는 최하위 계층에 있는 대안들의 가중치 또는 우선순위를 구할 수 있게 해 준다[10].

AHP 기법은 의사결정자의 경험이나 직관 등을 기초로 평가하기 때문에 다른 의사결정 기법에 비하여 비교적 쉽다는 장점을 가지고 있으며, AHP에서 사용되는 척도는 이산형과 연속형의 값을 모두 취할 수 있다. 또한 수치로 나타나 있는 정량적(quantitative)인 평가기준은 물론 흔히 의사결정문제에서 취급하기 곤란하면서도 그 중요성으로 인하여 반드시 고려해야 하는 정성적(qualitative) 평가요인들을 비교적 용이하게 처리할 수 있다. 따라서 AHP기법은 의사결정 도구로서 최근들어 가장 많이 이용되고 있다[4,8].

쌍별비교의 값은 실제적인 측정에 의해 얻을 수도 있고 또는 평가자의 상대적 선호도를 반영하는 척도값에 의해 얻을 수도 있다[9]. 그러나 에너지 양이나 자동차의 가격 등과 같이 측정치로 부터 중요도나 가중치를 알고 있을 경우, 의사결정자나 의사결정 분석자가 판단행렬(judgment matrix)를 만들어 고유치를 계산하지 않고 이러한 측정치들을 정규화(normalize)하여 이용하는 경향이 있는데, 이러한 절차는 판단에 대한 상대적 측정의 효용이 반영되지 않았을 때에는 잘못된 결과를 초래할 수 있다[10]. 예를 들면, 부자인 사람에게는 1달러나 2달러나 그 가치가 비슷하게 느껴질 수 있으나 실제적인 측정에 의하면 2배나 차이가 나게 된다.

일반적으로 계층구조의 중요도나 가중치를 나타내는 척도로서 1-9의 점수가 사용되었다면 정량적 요인은 1-9의 척도 범위 내에서 그 중요도나 가중치를 나타내는 최소치와 최대치의 값을 갖는다[9].

## 3. 정량적 요인의 가중치 도출

AHP의 직계 상위계층의 평가기준에서 직계 하위계층 요소들의 상대적인 중요도를 구하기 위한 쌍별비교 행렬을 작성하기 위하여는 쌍별비교의 결과를 계량화 하는 것이 필요하다. 여기에 이용되는 비율척도(ratio scale)로는 통상 9점 척도가 널리 이용되고 있다[10]. 따라서 본 논문에서는 9점 척도를 이용하여 쌍별비교 행렬을 구할 때 정량적 요인의 9점 척도화에 대해서 조사/분석하고 그 결과에 대해서 토의하고자 한다.

대부분의 의사결정 문제는 정량적 요인과 정성적 요인을 함께 포함하고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방법은 앞에서 설명한 4가지 방법 중의 하나로 귀착된다. 그러나 가장 최선의 방법이라고 생각할 수 있는 4번째 방법, 즉 정성적 요인과 정량적 요인을 분리하여 분석하고 적절한 모형을 이용하여 통합하는 과정에 대한 연구는 극소수에 불과하다[6].

정성적 요인과 정량적 요인이 함께 포함되어 있는 경우 정량적 요인의 중요도 척도가 정성적 요인의 척도와 같을 때는 문제가 없으나 중요도의 척도가 상이할 경우에는 이를 동일한 척도로 변환(transformation)하는 작업이 필요하다[7]. M.N Sharif와 V. Sundararajan[6]은 정성적 인 요소와 정량적인 요소를 통합하는 수학적 모형을 개발하였다. 그들은 정성적 요인을 AHP를 이용하여 정량화 하고, 이를 정량적 데이터와 함께 요인분석(factor analysis)를 통해 가중치를 계산하였다. 또한 Emanuel Melachrinoudis와 Ken Rice[3]는 정성적 요소와 하나의 정량적 요소를 통합하는 모형을 개발하였다. 그들은 정량적 요소를 piecewise concave linear function을 이용하여 정성적 요소의 점수와 같은 척도로 변환하였다.

이러한 변환 과정은 정성적 요인의 중요도 척도로서 AHP의 9점 척도를 이용하였을 경우 정량적 요인의 중요도도 9점 척도로 변환하는 것이다. 정량적 데이터를 비율척도로 변환하여 사용하는 경우 설문을 실시하지 않아도 되는 장점이 있지만 정량적 데이터에 대한 설문집단의 가치를 적절히 반영할 수 없는 단점이 발생할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 AHP를 이용한 의사결정문제에서 정량적 요인을 9점 척도화 할 때 가치함수(value function)도입의 타당성을 분석하였다.

또한 실제로 행한 설문에 의한 결과와 가치함수에 의해 도출된 결과를 비교 분석하여 가치함수 도입의 타당성을 검증하였다. 본 논문에서는 정량적 요인에 대해서만 설문을 하였다. 따라서 정량적 요인인 발전단계에 대한 각 대안의 중요도와 이러한 발전단계의 할인율, 우라늄 가격의 상승, 그리고 폐기물 처리 비용의 상승 등에 의한 발전단계의 민감도에 따른 비용의 변화에 대한 중요도만을 예로 들어서 설명하였다.

### 3.1 가치함수(value function)

불확실성하의 의사결정을 위해서는 효용함수(utility function)를 사용하고 확실성하에서의 의사결정을 위해서는 효용함수와 구별하여 가치함수(value function)를 사용한다. 이 가치함수는 책이나 논문에 따라서는 서수효용함수(ordinal utility function), 선호함수(preference function), 또는 효용함수(utility function)라고도 한다[1]. 본 논문에서는 가치함수라는 용어를 사용한다.

#### 3.1.1 가치함수의 정의

두 대안 A와 B가 있고, 다속성을 나타내는 벡터의 값  $X = (x_1, x_2, \dots)$ 에 대한 두 대안의 결과치를  $X^A, X^B$  라 가정하자. 실수치함수(real valued function)  $V(\cdot)$ 가 다음의 두 필요충분 조건을 만족하면  $V(\cdot)$ 를 의사결정자의 선호구조를 표현하는 가치함수라고 정의한다[1,5].

$$\begin{aligned} X^A \sim X^B &\Leftrightarrow V(x^A) = V(x^B) \\ X^A > X^B &\Leftrightarrow V(x^A) > V(x^B) \end{aligned}$$

즉, 대안 간에 선호순서가 존재하면 선호를 나타내는 가치함수가 존재하고, 또한 가치함수의 값의 크기 순서에 따라 대안 간의 선호순서가 존재한다는 뜻이다.

#### 3.1.2 단일 속성의 가치함수 부과방법

일반적으로 대부분의 경우 가치함수는 선형(linear)이 아닌 형태로 나타난다. 예를 들어, 집의 크기에 대한 가치함수에서 추가적으로 늘어나는 집의 크기에 대한 가치는 현재의 집의 크기에

따라 다르며, 현재의 집 크기가 크면 클수록 늘어나는 집의 크기에 대한 그 가치는 감소한다. 구체적으로, 현재의 집 크기가 100평일 때 추가적으로 늘어나는 10평에 대한 가치는 현재의 집 크기가 20평일 때 추가적으로 늘어나는 10평에 대한 가치보다 감소한다. 이러한 성질을 저감한 계가치(decreasing marginal value)라고 한다. 이를 수식으로 표현하면,  $x$ 를  $\Delta$ 만큼 증가시킬 때의 가치는 다음의 관계가 성립한다.

$$V(x+\Delta) - V(x) < V(x) - V(x-\Delta)$$

이러한 성질을 갖는 함수의 형태는 그림. 1과 같이 오목(concave) 하다.

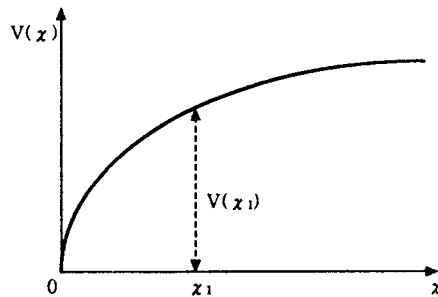


그림. 1 속성  $X$ 에 대한 가치함수  $V(x)$ 의 예

속성이 하나인 가치함수를 부과하는 방법에는 두 가지가 있다. 한가지 방법은 직접부과(direct assessment) 하는 방법이다. 이는 먼저  $V(x^0) = 0$  이 되도록  $x^0$ 를 정하고 즉, 원점을 구하고 다음에는 선택된 몇 개의 점  $x_1, x_2, \dots$  에 대해  $V(\cdot)$ 값을 구하여, 이 값들을 연결하여 가치함수를 구하는 방법이다. 또 한가지 방법은 중간가치 분할법(midvalue splitting technique)이라는 방법이 있는데 이는 다음과 같은 절차를 따른다[1,5].

- 단계 1.  $x$ 의 구간  $[x^0, x^*]$ 을 결정한다. 즉,  $x^0 \leq x \leq x^*$ 라고 한다. 그리고  $V(x^0) = 0, V(x^*) = 1$  이라고 부과한다.
- 단계 2. 구간  $[x^0, x^*]$ 의 중간가치점을 결정하여 이를  $x_{0.5}$  라고 한다. 그리고  $V(x_{0.5}) = 0.5$ 라고 부과한다.
- 단계 3. 구간  $[x_{0.5}, x^*]$ 의 중간가치점을 결정하여 이를  $x_{0.75}$  라고 한다. 그리고  $V(x_{0.75}) = 0.75$ 라고 부과한다.
- 단계 4. 구간  $[x^0, x_{0.5}]$ 의 중간가치점을 결정하여 이를  $x_{0.25}$  라고 한다. 그리고  $V(x_{0.25}) = 0.25$ 라고 부과한다.
- 단계 5. 일관성 검사(consistency check)를 위해 구간  $[x_{0.25}, x_{0.75}]$ 의 중간지점이  $x_{0.5}$  인지를 확인한다. 만약 아니면 위의 단계에서 결정한 중간 가치점 중의 몇개를 조정하여 일관성이 유지 되도록 한다.
- 단계 6.  $x^0, x_{0.25}, x_{0.5}, x_{0.75}, x^*$ 에서의 가치가 각각 0, 0.25, 0.5, 0.75, 1이 되도록 곡선을 그린다.
- 단계 7. 더욱 정밀한 곡선을 구하기 위해서는 위의 단계를 반복하여 더 많은 중간가치점을 구한다.

### 3.2 가치함수의 도출

본 논문에서는 가치함수를 설문에 의하여 도출하였다. 설문은 정량적 요인의 최소치와 최대치 그리고 이들 두 수치의 중간값과 이 중간값과 최대치의 중간값에 해당하는 두개의 점에 대하여 행하였으며, 설문은 AHP에서 사용되는 쌍별비교를 하도록 하였다. 즉, 대안 중에서 최소의 발전단가를 1로 놓았을 때 각 대안의 발전단가 1.05, 1.15, 1.20에 대한 상대적 중요도를 설문하여 최소의 발전단가에서 5%, 15%, 20%의 발전단가 증가에 대한 설문결과를 가치함수의 값으로 이용하였다.

실제적으로는 쌍별비교의 수 즉,  $n(n-1)/2$ 에 의해 3개의 설문결과가 더 도출되나 이를 무시하고 앞에 언급한 3개의 결과만을 이용하여 직접부과 방법에 의하여 가치함수를 도출하였다. 가치함수의 도출에서  $n$ 개의 점에 대한 결과를 이용하여 가치함수를 구하게 되면  $n-1$ 개의 변곡점이 있으며, 이러한 점을 여러개 구하면 구할 수록 보다 정확한 가치함수를 구할 수 있다. 그러나 실제로 수많은 점들에 의해서 가치함수를 구하게 되면 가치함수 도입의 의미가 없어지므로 변곡점과 변곡점 사이를 선형이라고 가정하여 도출하였다. 본 논문에서는 1.05와 1.15가 변곡점이 되나 그림 2에서 처럼 1.05에서 기울기에 큰 변화가 없으므로 1에서 부터 1.15까지 선형이라고 가정하여 도출한 가치함수는 다음과 같다.

$$V(x) = 1+22.67(x-1) \quad 1 < x \leq 1.15$$

$$V(x) = 4.4+14(x-1.15) \quad 1.15 < x \leq 1.2$$

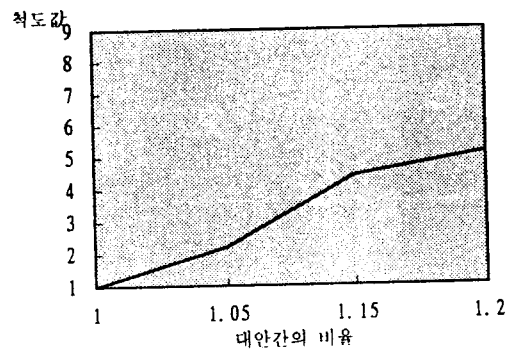


그림. 2 정량적 요인에 대한 가치함수

### 3.3 설문에 의한 결과와 가치함수에 의한 결과의 비교

실제 설문에 의해 도출된 결과 발전단가에 대한 중요도는 대안 A, B, C, D의 순으로 0.223, 0.418, 0.11, 0.25로 나타났고 가치함수에 의해 도출된 결과는 0.213, 0.376, 0.137, 0.274로 나타났다. 또한 발전단가의 비용 민감도에 대한 설문 결과의 중요도는 0.38, 0.408, 0.102, 0.11로 나타났으며, 가치함수에 의해 도출된 중요도는 0.38, 0.408, 0.102, 0.11로 나타나 결과가 동일함을 볼 수 있다.

그리고 이러한 가치함수의 도입이나 실제적인 설문조사 없이 발전단가가 가장 낮은 것에 AHP의 9의 척도를 부과하고 제일 높은 대안에 대해서 1의 척도를 부과한 다음 중간 대안들에 대해서는 일정 비율에 따라 수치를 부과하여 계산한 결과, 발전단가의 중요도는 0.295, 0.318, 0.092, 0.295로 나타났고 발전단가의 비용민감도에 대해 도출한 중요도는 0.343, 0.535, 0.048, 0.075로 나타났다. 이 결과에서 알 수 있듯이 가치함수에 의해 도출된 결과는 발전단가

의 경우 근사한 결과로 나타났으며, 발전단계에 대한 비용 민감도에 대한 중요도는 동일한 결과로 나타났다.

반면 제일 낮은 비용에 대하여 9의 척도를 부과하고 제일 높은 비용에 대해서 1의 척도를 부과한 다음 중간값을 갖는 대안들에 대해서는 일정 비율의 척도를 부과하여 도출한 중요도 결과는 실제 설문에 의해 도출된 결과와는 많은 차이를 보이고 있다. 따라서 정량적 요인이 같은 종류이면서 2개 이상의 것에 대해서 가중치나 우선순위를 구하고자 할 경우 정량적 요인의 최대치와 최소치 그리고 중간값에 대해서 가치함수를 도출하여 각 정량적 요인에 대한 가중치를 구할 수 있다. 따라서 이러한 절차에 따라 우선순위나 가중치를 구하게 되면 정확한 정량적 요인의 중요도나 우선순위의 성질을 보존하면서 설문 집단의 가치를 적절하게 반영하게 되므로 실제로 설문에 의한 결과와 유사하거나 같은 결과를 도출할 수 있으며, 설문의 항목 수를 줄일 수 있다.

#### 4. 결론 및 토의

현재 수행되고 있거나 향후 개발할 기술이나 프로젝트를 평가 또는 선정할 경우 일반적으로 다수의 대안과 다수의 평가기준을 고려하여 의사결정을 해야 한다. 일반적으로 이러한 평가기준은 정성적인 요인과 정량적인 요인을 포함하게 된다. 정성적 요인이나 정량적 요인을 각각 평가하기 위한 기법들은 잘 개발되어 있으나 두가지 요인을 동시에 고려하면서 대안을 평가할 수 있는 기법은 거의 없는 실정이다.

본 논문에서는 정성적 요인은 AHP에 의해 도출되었다고 가정하고 정량적 요인에 대해서는 설문 대상 집단의 선호도나 중요도를 적절히 반영할 수 있는 것으로 평가되는 가치함수를 도입하여 중요도를 도출하였다. 이렇게 가치함수에 의해 도출된 결과와 실제 설문에 의해 도출된 결과를 비교/분석한 결과 거의 유사하거나 동일한 결과를 나타냈다. 또한 설문이나 가치함수를 이용하지 않고 정량적 요인의 수치를 단순한 척도변환에 의하여 구한 가중치와 가치함수에 의해 구한 가중치를 비교한 결과 가치함수에 의해 구한 가중치가 실제 설문에 의해 구한 가중치에 더욱 근접함을 볼 수 있다.

따라서 가치함수에 의해 우선순위나 가중치를 구하게 되면 정확한 정량적 요인의 중요도나 우선순위의 성질을 보존하면서 설문 집단의 가치를 적절하게 반영하게 되므로 실제로 설문에 의한 결과와 유사하거나 같은 결과를 도출할 수 있으며, 설문의 항목 수를 줄일 수 있다.

## 참 고 문 헌

- 1) 강맹규, 불확실성하의 의사결정론, 회중당, 1990.
- 2) 이병욱, 정수일, AHP를 이용한 기술개발 대안 평가에 관한 연구, 공업경영학회지, 제18권 제36집, 1995. 12. 30
- 3) Emanuel Melachrinoudis and Ken Rice, "The Prioritization of Technologies in a Research Laboratory", IEEE Transactions on Engineering Management, VOL. 38, NO. 3, August, 1991.
- 4) F. Zahedi, The Analytic Hierarchy Process - A Survey of the Method and its Applications, INTERFACES 16, 4 July-August, 1986, pp. 96-108.
- 5) Keeney, R. L., and Raiffa, Decisions with Multiple Objectives : Preferences and Values Tradeoffs, Wiley, New york, 1976.
- 6) M.N. Sharif and V.Sundararajan, "A Quantitative Model for the Evaluation of Technological Alternatives", Technological Forecasting and Social Change 24, 1983, pp. 15-29.
- 7) S. R. Watson and A. N. S. Freeling, "Assessing Attribute Weights", Omega, Vol. 10, No. 6, 1982, pp. 582-583.
- 8) T. L. Saaty, How to Make a Decision : The Analytical Hierarchy Process, INTERFACES, Vol.24, No. 6, 1994, pp. 19-43.
- 9) T. L. Saaty, Modeling Unstructured Decision Problems-The Theory of Analytical Hierarchies, Mathematic and Computers in Simulation, Vol.20, No.3, 1978, pp. 147-158.
- 10) T. L. Saaty, The Analytic Hierarchy Process, New York : McGraw-Hill, 1980.