韓國經營科學會誌
第23卷 第4號
1998年 12月

Compatibility를 이용한 다수 전문가의 가중치 종합화에 관한 연구

조성훈* · 김태성** · 이영찬*

A Study on the Aggregation of Multi-Experts Priorities Using Compatibility in the AHP

Seong-Hoon Cho* · Tae-Sung Kim** · Young-Chan Lee*

■ Abstract ■

The objective of this study is to propose a new procedure to synthesize the multi-experts priorities in AHP. If multi-experts with different expertise are involved in a AHP decision, we need some way to aggregate their opinions. AHP model used to do numerical aggregation by taking only the geometric mean or the weighting geometric mean in past.

To aggregate the multi-experts priorities, in this paper, we suggest a way which Decision Maker can exclude outlier matrix from group using the concept of the Compatibility and we introduce Delphi method to use Compatibility in AHP.

A numerical example is shown to illustrate the procedure.

1. 서 론

기업의 의사결정자들이 현실에서 다루는 문제들은 한 차원에서 결정되기 보다는 다차원의 문제가 서로 연결되어 있는 경우가 많다. 이와 같이 의사결정 문제가 계층적인 성격을 갖는 경우에, 이를 해결하는 기법으로서 AHP(Analytic Hierarchy Process)법을 많이 사용하게 된다. 실제로 대부분

* 건국대학교 대학원 산업공학과 박사과정
** 남서울대학교 산업공학과

의 의사결정 문제들은 「문제」, 「대체안」, 「평가기준」 등의 차원으로 구성되어 있으며, 이것은 계층적 구조로 환원될 수 있다. 여기서 「문제」는 의사결정의 대상을 의미하며, 「대체안」이란 최종적인 선택의 대상이 되며, 「평가기준」이란 대체안을 비교하기 위한 여러 가지 선정 기준이라 할 수 있다.[2]

하지만 최근에 대두되고 있는 여러 가지 의사결정 문제들은 그 차원이 복잡할 뿐 아니라, 적용환경 또한 다르기 때문에, 평가 대상과 관련된 여러 전문가들이 참여하는 집단의사결정이 바람직한 결과를 도출할 수 있는 경우도 있다. 단일 의사결정에서와 마찬가지로, 집단의사결정의 경우에도 AHP를 좋은 도구로서 사용할 수 있는데, 이와 같이 집단의사결정에서 AHP가 바람직한 결과를 도출할 수 있는 이유는, AHP라는 기법 자체가 문제를 세분화하고 계층화하는 특성을 갖고 있기 때문이다. 이로서 더 많은 정보와 지식을 이용할 수 있으며, 또한 다양한 기준을 수립하여 문제를 규명하고 분석함에 따라 폭 넓은 관점이 도출될 수 있다는 것이다.[1]

적당한 기준과 대체안으로 구성되어 있는 집단의사결정일 경우, 이와 같은 AHP의 특성은 집단의사결정의 장점을 더욱 강화할 수 있다. 그러나 기존의 AHP 기법을 이용한 집단의사결정의 평가방법은 단일행렬에서 사용하는 일관성 개념을 도입함으로서, 다수전문가의 의사결정을 종합화하는 과정에서 사용하기에는 다소 불충분한 측면이 존재한다. 이와 같은 문제점을 보완하기 위하여 본 연구에서는 기존의 AHP에서 사용되던 일관성지수(Consistency Index)이외에, 각각의 쌍대비교행렬이 가지고 있는 최대고유치의 고유벡터에 대한 대용가능(Compatibility)이라는 개념을 수치로 지수화하고, 여기에 델파이법의 개념을 도입함으로서, 다수전문가들의 쌍대비교행렬을 결합하는 접근 방법을 제시하고자 한다.

2. 기존의 다수전문가 의견종합 방법과 한계

2.1 기존의 의견종합 방법

다수 전문가의 개별적 평가 결과를 전체로서 종합하는데 사용되어 온 이전의 방법은 다수 전문가의 의견에 따라 쌍대비교를 개별적으로 수행한 후에, 이 쌍대비교에 대한 평균을 구하는 것이다. 평균을 구하는 과정에는 그 방법에 따라 세 가지 정도로 그 종류를 구분할 수 있는데, 이는 다음과 같다.

- 조건없이 전체 전문가의 쌍대비교 행렬을 평균하는 방법
- 일관성 지수를 고려하여, 기준을 만족하는 전문가의 쌍대비교행렬만을 평균하는 방법
- 일관성 지수를 바탕으로, 상대적 가중치를 산출하여, 전문가의 쌍대비교행렬을 가중평균하는 방법

전술한 세 가지 경우 모두 기하평균을 사용한다는 공통점을 지니고 있다. 이는 산술평균이 간단한 수학적 개념만으로도 계산할 수 있다는 용이성을 가지고 있고 모든 변수가 균등하게 산술평균치의 계산에 반영되므로 공평성을 가질 수 있는 반면에, 극소수의 극단적인 이상변수가 있을 경우 산술평균은 해당 변수의 영향을 너무 크게 받는다는 단점이 있기 때문이다. 특히 AHP에서와 같이 사회현상의 수치적 자료가 많이 있는 경우에는 분석자의 판단에 따른 쌍대비교행렬의 값이 많은 편차를 가질 수 있으며, 이러한 측면에서 기하평균은 산술평균에 비하여 적용상의 이점을 가지고 있다고 할 수 있다.[4]

또한 이를 행렬계산상의 차원에서 본다면 AHP에서 사용하는 행렬은 원소(Element)간에 역대칭의 특성을 가지고 있기 때문에, 산술평균보다는 기하평균을 사용하는 것이 바람직하다. 만일 세 전문가의 가중치 5, 3, 6을 통합하는 경우에는 다음의 <표 1>과 같은 결과를 가져오게 된다.

〈표 1〉 다수전문가의 쌍대비교행렬 통합시 기하평균과 산술평균

	기하평균에 의한 합성	산술평균에 의한 합성
원 소	$\sqrt[3]{5\times3\times6}=$ $\sqrt[3]{90}=4.48$	$\frac{1}{3}(5+3+6)=4.67$
역대칭 원 소	$\sqrt[3]{\frac{1}{5}\times\frac{1}{3}\times\frac{1}{6}}=$ $\sqrt[3]{\frac{1}{90}}=\frac{1}{4.48}$	$\frac{1}{3}(\frac{1}{5}+\frac{1}{3}+\frac{1}{6})=$ $\frac{1}{4.285}$

위의 결과를 보면, 기하평균은 결과간에 역수관계가 존재하여 AHP의 기본공리를 만족시키는데 반하여, 산술평균은 이와 같은 성질을 만족시키지 못한다는 것을 알 수 있다. 결과적으로 다수전문가의 의견을 통합하는 경우에는 기하평균을 사용하는 것이 논리적임을 알 수 있다.

의견종합방법에서 기하평균 이외에 중심이 되는 또 하나의 요소는 일관성 지수이다. AHP내에서 사용되는 일관성 비율(Consistency Ratio : C.R.)이나 일관성 지수(Consistency Index : C.I.)란 의사결정자의 주관을 배제하고 주어진 비교행렬만을 이용하여 전문가의 전문성을 측정할 수 있는 척도로서 비교의 일관성 정도를 나타내는 수치라고 할 수 있다. 따라서 일관성에 관한 척도(Scale)를 사용하여 기준에 미달하는 쌍대비교행렬을 제외하거나 일관성지수의 정도를 기준으로 가중평균을 하는 것은 어느 정도의 타당성을 지니고 있다고 판단할 수 있다.[8]

2.2 기존 방법의 한계

위에서 다수 전문가의 쌍대비교행렬에 대한 종합방법들은 기하평균과 일관성 지수라는 두 가지 요소를 중심으로 하고 있다는 것을 설명하였다. 여기서 일관성 지수의 특성에 대하여 좀 더 논의한다.

전문가에 의하여 쌍대비교행렬을 구하고, 이 때 행렬의 원소를 a_{ij}라고 하면, 항목 i와 j를 쌍대비교한 원소 a_{ij}는 전문가가 완전하게 일관성을 가지고 있는 경우, $a_{ij}=\dfrac{w_i}{w_j}$가 되며, 여기서, w_i는 i번째 항목의 가중치이며, w_j는 j번째 가중치이다. 위와 같이 전문가가 완전하게 일관성을 갖고 있는 경우(일관성지수 C.I = 0)에는 <표 2>와 같은 쌍대비교행렬을 구할 수 있으며, 각 항목에 대한 행렬의 가중치는 w_1, w_2, …, w_n이다.

〈표 2〉 완전한 일관성을 가진 이상적인 쌍대비교행렬

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \cdots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \cdots & \frac{w_2}{w_n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \cdots & \frac{w_n}{w_n} \end{bmatrix}$$

<표 2>에서 알 수 있는 바와 같이 일관성이라는 개념은 행렬내의 각 항목의 값을 구하는 과정에서 전문가의 선호도가 어느 정도 논리적인가를 나타내는 수치로서, 하나의 쌍대비교행렬내에서만 적용되는 개념이라고 할 수 있다.

하지만 다수 전문가가 의사결정에 참여하는 경우라면, 하나의 행렬내에서만 적용될 수 있는 일관성개념을 이용하여 다수 전문가의 의견을 종합한다는 것은 나름대로의 한계를 지닌다고 할 수 있다. 이는 전문가들이 다양한 의견을 제시하는 과정에서, 전문가의 영역에 따라 지나치게 편의한(Bias) 값이 발생할 수 있고 이러한 이상치(Outlier)는 다수 전문가가 제시한 전반적인 경향에 영향을 미칠 수도 있기 때문이다. 이는 통계이론에서 평균에 지나치게 편의한 이상치(Outlier)를 보정하거나 계산대상에서 제외하는 과정을 일반화하고 있다는 것으로서 쉽게 알 수 있다.

또한 집단적인 의사를 수렴하는 과정에서 많이 사용되고 있는 델파이법의 경우에도 평균을 중심으로 하여 상·하위 25%의 자료는 제외시키고 중심의 50% 자료만을 보정하여 정보로서 취한다는 것은 좋은 사례라고 할 수 있다.[3]

이에 본 연구에서는 다수개의 쌍대비교행렬내에서 이상치의 여부를 판정할 수 있는 개념으로서

Satty[9]가 제시하였던 대용가능 개념을 도입하고자 한다. 이하에서는 AHP의 쌍대비교행렬간의 편의(Bias) 정도를 산출하는 기준으로서 Compatibility를 제시하고, 이를 통하여 다수전문가의 의견을 효율적으로 종합할 수 있는 접근법을 구상하고자 한다.

3. Compatibility를 이용한 다수 전문가 의견종합 방법

3.1 Compatibility의 개념

선형대수학 관점에서 고려할 때 대용가능(Compatibility)이란 일관성(Consistency)과 동일한 의미를 가지고 있다. 선형대수학적인 정의에 따르면, 행렬 A의 행렬노름(Matrix Norm) $\|A\|$가 벡터 X의 벡터노름 $\|X\|$와의 관계속에서 $\|AX\| \leq \|A\|\,\|X\|$의 관계를 만족시키면 행렬 노름 $\|A\|$는 벡터노름 $\|X\|$와 대용가능하거나 또는 일관성이 있다고 정의한다. 하지만 AHP에서는 대용가능과 일관성을 구별하여 사용하고 있다.[9] AHP에서 사용되는 일관성(Consistency)이란 하나의 쌍대비교 행렬내에서 논리성의 정도를 검토하는 것이다. 이에 반하여 대용가능(Compatibility)란 두 개의 쌍대비교 행렬간의 양립 가능성을 검토하는 지수라고 할 수 있다. 엄밀히 이야기 한다면, 두 행렬이 가지고 있는 가중벡터, 즉 최대고유치의 고유벡터간에 서로 대용하여 사용할 수 있는 가의 여부를 판단하는 지수라고 할 수 있다. 이는 가중벡터간의 대용성을 쌍대비교행렬간의 대용성이라고도 간주할 수 있기 때문이다. 두 개념을 비교하여 정리하면 <표 3>과 같다.

〈표 3〉 대용가능과 일관성의 비교

	대용가능(Compatibility)	일관성(Consistency)
개 념	그룹의사결정처럼 집단적 행동 속에서 적용, 복수개의 행렬에서 구한 최종 가중치(벡터) 간의 대용가능성을 의미	각 개인의 차원에 해당, 단일의 초기행렬에 대한 개념
수학적 정 의	Similarity Index(S.I.) = $\frac{1}{n^2} e^T A \circ B^T e$	Consistency Index(C.I.) = $\frac{\lambda_{\max} - n}{n-1}$

3.2 Compatibility의 이론적 전개

하나의 대상에 대하여 두 전문가가 각각 쌍대비교를 실시하여 그 가중벡터를 계산한 결과, $w=(w_1, \cdots, w_n)$, $u=(u_1, \cdots, u_n)$의 두 고유벡터를 얻었다고 가정하자. 이 벡터들은 하나의 판단 대상을 쌍대비교하여 얻은 고유벡터, 즉 가중치이므로, 만일 여기서 이상적인 경우가 발생하여, 두 전문가가 동일한 관점에서 동일한 분석을 실시하였다면 두 벡터 가중치는 정확하게 일치하게 된다.

그러나 다수 전문가에게는 전문가 각각의 편견, 동기적 견해, 분석 상황 등이 존재하므로, 분석 대상을 동일한 관점에서 비교 · 분석하지 못하고, 언제나 개인적인 편차를 갖는다고 할 수 있다. 본 연구에서는 이러한 편차를 Perturbation Matrix라 정의하고, ε_{ij}로서 표현한다. 이와 같은 Perturbation Matrix에 의하여, 각 전문가들의 분석 결과는 달라지게 되며, 이에 따라 쌍대비교행렬도 달라지게 된다. 결과적으로 가중치 고유벡터 $w=(w_1, \cdots, w_n)$, $u=(u_1, \cdots, u_n)$도 서로 차이를 갖게 된다.

4개의 가중치를 평가하는 경우에, 두 전문가중에서 전문가 1의 가중치 고유벡터를 $w=(w_1, \cdots, w_4)$라고 한다면, 일관성이 완전하게 보장된 경우에는 고유벡터의 기본성질에 의하여 다음과 같은 쌍대비교행렬을 구성하게 된다.

$$\text{Matrix } A = \begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \frac{w_1}{w_3} & \frac{w_1}{w_4} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \frac{w_2}{w_3} & \frac{w_2}{w_4} \\ \frac{w_3}{w_1} & \frac{w_3}{w_2} & \frac{w_3}{w_3} & \frac{w_3}{w_4} \\ \frac{w_4}{w_1} & \frac{w_4}{w_2} & \frac{w_4}{w_3} & \frac{w_4}{w_4} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ w_4 \end{bmatrix} = 4 \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ w_4 \end{bmatrix}$$

위의 열벡터에서 4라는 값은 행렬 A가 완전한 일관성을 지닐 경우, 행렬 A의 최대고유치이며, 이는 행렬의 차원과 일치하게 된다. 전문가 2의 고유

벡터를 $u=(u_1,\cdots,u_4)$라고 하면, 다음과 같은 쌍대비교행렬을 구성하게 된다.

$$\text{Matrix } B=\begin{bmatrix} \frac{u_1}{u_1} & \frac{u_1}{u_2} & \frac{u_1}{u_3} & \frac{u_1}{u_4} \\ \frac{u_2}{u_1} & \frac{u_2}{u_2} & \frac{u_2}{u_3} & \frac{u_2}{u_4} \\ \frac{u_3}{u_1} & \frac{u_3}{u_2} & \frac{u_3}{u_3} & \frac{u_3}{u_4} \\ \frac{u_4}{u_1} & \frac{u_4}{u_2} & \frac{u_4}{u_3} & \frac{u_4}{u_4} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \end{bmatrix} = 4 \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \end{bmatrix}$$

여기서 전문가 1의 쌍대비교행렬 A를 기준행렬이라고 가정하면, 전문가 2의 쌍대비교행렬 B는 기준행렬 A와 차이를 가지고 있으며, 이 차이는 요소 ε_{ij}로 구성된 Perturbation Matrix로서 설명될 수 있다. 이는 식 (1)로 표현된다.

$$\frac{w_i}{w_j}=\frac{u_i}{u_j}\varepsilon_{ij},\ \ \varepsilon_{ij}=\frac{w_i}{w_j}\frac{u_j}{u_i} \qquad (1)$$

여기서 Perturbation Matrix ε_{ij}는 기준행렬 A와 비교행렬 B의 전치(Transpose) 행렬에 대한 Hadamard product로서 구할 수 있으며, 이는 식 (2)와 같다.

$$A\circ B^T=(\varepsilon_{ij}) \qquad (2)$$

위의 식이 만족하는 이유는 A, B모두 역대칭행렬이기 때문이다.

합벡터 e를 이용하여, 위의 식을 행렬의 차원으로 확대하면, 식 (3)이 되며, 이로서 두 행렬이 갖는 최대고유치에 대한 고유벡터값의 대용가능 정도, 즉 Compatibility의 정도를 확인할 수 있다.

$$e^TA\circ B^Te=\sum_{i,j=1}^{n}\frac{w_i}{w_j}\frac{u_j}{u_i}=\sum_{i,j=1}^{n}\varepsilon_{ij} \qquad (3)$$

위의 식은 최소 n^2(=최대고유치^2)값을 갖는데, 이는 A와 B 행렬이 역대칭행렬의 성질을 만족하기 때문이다. 위의 개념을 바탕으로 AHP에서의 Compatibility를 정의하면 다음과 같다.[9]

- 정리 1 : AHP를 이용한 그룹의사결정에서 기준행렬을 A라 하고, 비교행렬의 집합에서 각각의 행렬을 B 라고 하면, 두 행렬간의 Compatibility란 $e^TA\circ B^Te$로서 표현되며, 이것의 최소값은 최대고유치의 제곱값이 된다. 만일 이 값이 n^2이 되는 경우에 비교대상이 되는 행렬 B는 기준행렬 A와 완전하게 대용가능하다고 할 수 있다.

대용가능(Compatibility)은 행렬의 차원에 대하여 비례하므로, 절대 기준으로서 n^2의 개념을 도입하여 대용가능지수(Compatibility Index: Similarity Index: S.I.)를 정의한다. 이로서 행렬의 차원이 다른 경우에도 여러가지 대용가능 정도의 크기를 비교할 수 있으며, 절대기준 n^2에 비교하여 대용가능의 정도를 가늠할 수 있다.

- 정리 2 : S.I.(대용가능지수) $=\frac{1}{n^2}e^TA\circ B^Te$, 여기서 A는 기준행렬이고, B는 비교행렬이다.

위의 두 정리를 이용하면, AHP에서의 Compatibility란 두 행렬 A, B간의 $e^TA\circ B^Te$이며, 만일 S.I.가 1이면 두 행렬의 가중치 벡터 w와 u는 완전히 대용가능하다고 할 수 있다.

3.3 Compatibility의 사례

두 전문가의 쌍대비교행렬이 있는데, 각각을 기준이 되는 행렬 A와 비교행렬 B라고 정의하여 보자. 이 두 행렬은 다음과 같다.

$$\text{행렬A}=\begin{bmatrix} 1 & 2 & 4 \\ 1/2 & 1 & 2 \\ 1/4 & 1/2 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{행렬B}=\begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 \\ 1/3 & 1 & 5/3 \\ 1/5 & 3/5 & 1 \end{bmatrix}$$

위의 두 행렬간의 Hadamard Product를 실시하면, 다음과 같은 결과를 얻게 된다.

$$A \circ B^T = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 4 \\ 1/2 & 1 & 2 \\ 1/4 & 1/2 & 1 \end{bmatrix} \circ \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 1/5 \\ 3 & 1 & 3/5 \\ 5 & 5/3 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 1 & 2/3 & 4/5 \\ 3/2 & 1 & 6/5 \\ 5/4 & 5/6 & 1 \end{bmatrix}$$

각 원소의 합을 구하고, 이를 n^2(=최대고유치^2)으로 나누면 다음과 같다.

$$\frac{1}{n^2} e^T A \circ B^T e = \frac{9.25}{9} = 1.028$$

S.I.의 최소값이 1이며, 1을 기준으로 하였을 때 편차가 그다지 크지 않으므로, 비교행렬 B는 기준행렬 A에 대하여 대용가능하다고 할 수 있다.

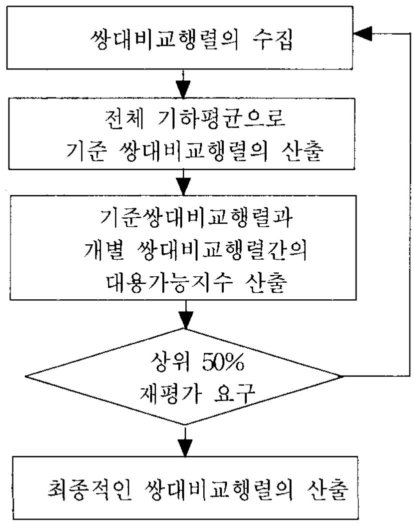
3.4 AHP에서의 Compatibility 적용

일관성이 가장 우수한 쌍대비교행렬을 기준행렬로 선정하여 이 쌍대비교행렬과 다른 쌍대비교행렬간의 S.I.를 비교하고, S.I.가 1.1이 되는 시점을 기준으로 하여 행렬간의 편의 정도를 판단하는 방법이 제기되었다. 하지만 이와 같은 방법은 일관성이 뛰어난 하나의 쌍대비교행렬에 대하여 지나치게 의존될 수 있으며, 이는 많은 다수의 전문가가 한 전문가를 기준으로 하여 판단될 수 있는 위험성을 내포하고 있다고 할 수 있다.

이에 본 연구에서는 대용가능지수를 사용하는 과정에서 델파이법의 개념을 도입하려 한다. 델파이법은 전문가들의 의견을 총괄하는 방법으로서 익명성과 피드백이라는 두 가지 특성으로서 대별되는 방법이다. 델파이법에서는 각 전문가가 각자의 예측치를 설문지로서 응답하고, 이를 종합하여 하나의 결과를 만들게 된다. 여기에서 만약 어느 전문가의 예측치가 전체 평균을 기준으로 상 · 하위 25%에 해당되면, 이를 이상치로 판단하여 예측치에 대한 수정을 지시하거나 분석대상에서 제외시킬 수 있다. 이러한 과정을 반복함으로서 예측치들의 범위를 점점 좁혀가게 된다.[3]

본 연구에서는 다수 전문가의 쌍대비교행렬을 기하평균하여 얻은 행렬로서 기준행렬을 선정하고, 이를 기준으로서 각 전문가의 쌍대비교행렬의 대용가능지수를 산출한다. 그리고 델파이법의 개념을 이용하여, 이를 순위순으로 나열하고, 하위 50%를 제외한 쌍대비교행렬을 취하여, 이에 대한 기하평균만을 실시함으로서 최종적인 결과행렬을 구한다.

위의 개념을 이용하여 Compatibility개념을 이용한 다수 전문가의 AHP 가중치 종합화의 절차를 도시하면 [그림 1]과 같다.



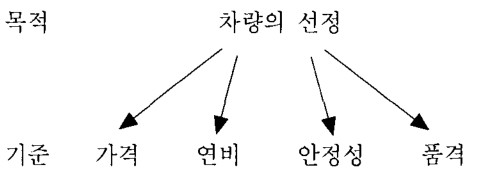
[그림 1] 다수 전문가의 AHP 가중치 종합화의 절차

4. 수치 예

4.1 수치 예 설명

본 연구에서는 자동차 선정기준에 대한 가중치 종합과정을 사례로서 선정하였다. 이는 AHP관련 연구에서 많이 다루어지는 부분이며, 특히 의사결정자마다 많은 시각차이를 가질 수 있으므로 본 예

제에 적합하다고 판단되었기 때문이다. 의사결정 계층도를 도시하면 [그림 2]와 같다.



[그림 2] 차량의 선정을 위한 의사결정 계층도

4.2 다수 전문가의 쌍대비교

위의 계층을 기준으로 6명의 전문가가 실시한 쌍대비교행렬을 도시하면 <표 4>와 같다.

〈표 4〉 6 전문가의 쌍대비교행렬

● 전문가 1의 의사결정 (C.I.=0.087, C.R.=0.096)

	가격	연비	안정성	품격	가중치
가 격	1	1	1/3	3	0.2083
연 비	1	1	1/3	5	0.2366
안정성	3	3	1	3	0.4747
품 격	1/3	1/5	1/3	1	0.0804

● 전문가 2의 의사결정 (C.I.=0.146, C.R.=0.163)

	가격	연비	안정성	품격	가중치
가 격	1	1/2	1/4	4	0.1856
연 비	2	1	1/2	2	0.2625
안정성	4	2	1	2	0.4415
품 격	1/4	1/2	1/2	1	0.1104

● 전문가 3의 의사결정 (C.I.=0.088, C.R.=0.098)

	가격	연비	안정성	품격	가중치
가 격	1	1/5	1/7	1/2	0.0618
연 비	5	1	1/6	2	0.2032
안정성	7	6	1	3	0.5991
품 격	2	1/2	1/3	1	0.1359

● 전문가 4의 의사결정 (C.I.=0.076, C.R.=0.04)

	가격	연비	안정성	품격	가중치
가 격	1	3	1/5	3	0.1904
연 비	1/3	1	1/7	3	0.1010
안정성	5	7	1	7	0.6502
품 격	1/3	1/3	1/7	1	0.0583

● 전문가 5의 의사결정 (C.I.=0.054, C.R.=0.060)

	가격	연비	안정성	품격	가중치
가 격	1	3	1/3	3	0.2282
연 비	1/3	1	1/7	3	0.1066
안정성	3	7	1	7	0.6037
품 격	1/3	1/3	1/7	1	0.0615

● 전문가 6의 의사결정 (C.I.=0.103, C.R.=0.115)

	가격	연비	안정성	품격	가중치
가 격	1	1/3	1/2	3	0.1883
연 비	3	1	1/2	3	0.3262
안정성	2	2	1	2	0.3767
품 격	1/3	1/3	1/2	1	0.1087

4.3 전체 기하평균의 산출

위에서 제시된 6개 쌍대비교행렬을 기하평균하면 <표 5>와 같다.

〈표 5〉 6개의 쌍대비교행렬의 기하평균

(C.I.=0.0474, C.R.=0.0527)

	가격	연비	안정성	품격	가중치
가 격	1	0.818	0.271	2.335	0.1719
연 비	1.222	1	0.256	2.854	0.1970
안정성	3.689	3.902	1	3.476	0.5388
품 격	0.428	0.350	0.288	1	0.0923

4.4 Compatibility를 이용한 쌍대비교행렬의 선정

전체 기하평균행렬을 기준행렬로 놓고, 각각 6개의 쌍대비교행렬에 대한 대용가능지수를 구하면 다음의 <표 6>과 같다.

〈표 6〉 대용가능지수의 산출

- 전문가 1의 Hadamard Product의 결과
  ($e^TA \circ B^Te$=16.56 S.I.=1.035)

	가격	연비	안정성	품격
가 격	1	0.8182	0.8133	0.7783
연 비	1.2222	1	0.7689	0.5707
안정성	1.2296	1.3006	1	1.1587
품 격	1.2849	1.7520	0.8631	1

- 전문가 2의 Hadamard Product의 결과
  ($e^TA \circ B^Te$=17.46 S.I.=1.091)

	가격	연비	안정성	품격
가 격	1	1.6364	1.0844	0.5837
연 비	0.6111	1	0.5126	1.4268
안정성	0.9222	1.9509	1	1.7380
품 격	1.7132	0.7008	0.5754	1

- 전문가 3의 Hadamard Product의 결과
  ($e^TA \circ B^Te$=21.981 S.I.=1.374)

	가격	연비	안정성	품격
가 격	1	4.091	1.8977	4.6696
연 비	0.2444	1	1.5378	1.4268
안정성	0.5269	0.6503	1	1.1587
품 격	0.2142	0.7008	0.8631	1

- 전문가 4의 Hadamard Product의 결과
  ($e^TA \circ B^Te$=18.96 S.I.=1.185)

	가격	연비	안정성	품격
가 격	1	0.2727	1.3555	0.7783
연 비	3.6666	1	1.7941	0.9512
안정성	0.7378	0.5574	1	0.4966
품 격	1.2849	1.0512	2.0139	1

- 전문가 5의 Hadamard Product의 결과
  ($e^TA \circ B^Te$=18.91 S.I.=1.182)

	가격	연비	안정성	품격
가 격	1	0.2727	0.8133	0.7783
연 비	3.6666	1	1.7941	0.9512
안정성	1.2296	0.5574	1	0.4966
품 격	1.2849	1.0512	2.0139	1

- 전문가 6의 Hadamard Product의 결과
  ($e^TA \circ B^Te$=18.091 S.I.=1.131)

	가격	연비	안정성	품격
가 격	1	2.4546	0.5422	0.7783
연 비	0.4074	1	0.5126	0.9512
안정성	1.8445	1.9509	1	1.7380
품 격	1.2849	1.0512	0.5754	1

각각의 대용가능지수(S.I.)를 기준으로 쌍대비교행렬을 순서대로 나열하면 <표 7>과 같다.

〈표 7〉 대용가능지수의 비교 · 정리

S.I.	1.035	1.091	1.131	1.182	1.185	1.374
전문가	전문가 1	전문가 2	전문가 6	전문가 5	전문가 4	전문가 3

4.5 Compatibility를 이용한 기하평균

대용가능지수를 기준으로 하위 50%의 쌍대비교행렬을 버리고 상위 50%만을 취하면, 전문가 1, 전문가 2, 전문가 6이 선정된다. 따라서 이 세명의 전문가가 전체 평균을 기준으로 하였을 때, 비교적 편의하지 않는 쌍대비교행렬이라고 할 수 있다.

세 전문가의 쌍대비교행렬만을 가지고 기하평균을 구하면 <표 8>과 같다.

또한 본 연구에서는 전체기하평균과 함께, C.R.을 이용한 다수전문가의 의사결정 종합화 방법과 S.I.를 이용한 종합화 방법을 비교를 위하여 C.R.이 0.1 이하인 쌍대비교행렬만을 취하여 이에 대한 기하평균을 구하였다.[8] 이에 해당하는 행렬은 행렬

1, 3, 4, 5이며, 구해진 결과는 <표 9>와 같다.

〈표 8〉 전문가 1, 2, 6의 결합행렬

	가격	연비	안정성	품격	가중치
가 격	1	0.5503	0.3470	3.302	0.1949
연 비	1.8171	1	0.4370	3.1070	0.2742
안정성	2.8845	2.2894	1	2.2890	0.4315
품 격	0.3029	0.3218	0.4370	1	0.0994

〈표 9〉 전문가 1, 3, 4, 5의 결합행렬

	가격	연비	안정성	품격	가중치
가 격	1	1.1583	0.2374	1.9168	0.1599
연 비	0.8633	1	0.1835	3.0801	0.1568
안정성	4.2129	5.4496	1	4.5826	0.6010
품 격	0.5217	0.3247	0.2182	1	0.0823

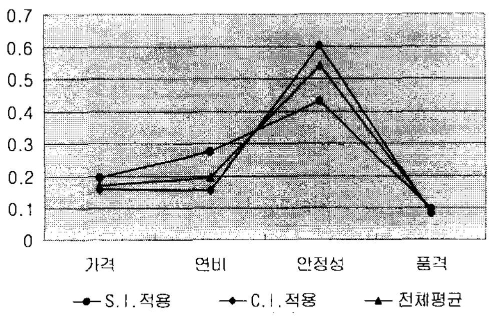
4.6 결과 분석

<표 8>, <표 9>에서 구해진 결과와 전체기하평균으로 구해진 <표 5>의 결과를 비교하면 <표 10>과 같다.

〈표 10〉 세 결과의 비교

항목 \ 방법	S.I. 적용	C.R. 적용	전체평균
가 격	0.1949	0.1599	0.1719
연 비	0.2742	0.1568	0.1970
안정성	0.4315	0.6010	0.5388
품 격	0.0994	0.0823	0.0923

<표 10>의 결과를 도시하면 [그림 3]과 같다.



[그림 3] 세 결과의 비교

위의 결과로서 S.I.를 적용하는 경우, 적용하지 않는 경우 그리고 C.R.을 적용한 경우에는 그 가중치에서 차이가 발생한다는 것을 알 수 있다. 실제로 AHP는 가중치가 가장 높은 한가지 대안만을 선정하는 의사결정 체계이므로 이러한 차이가 최종대안 선정에 어느 정도의 영향을 미치는가를 확인하는 것이 매우 중요한 절차이다. 그러나 최종대안을 선정하는 과정에서 이와 같은 가중치의 차이는 분석자를 그릇된 의사결정으로 이끌수 있다는 점을 고려한다면 S.I.를 적용하는 다수전문가 가중치 종합화 절차는 충분한 의의를 갖는다고 할 수 있다.

5. 결 론

1977년 Saaty가 제시한 이후 AHP는 회계, 재정, 투자, 연구개발 등의 의사결정 분야에서 많은 응용연구가 시도되었다. 특히 AHP는 다수 전문가의 의사결정에서 매우 유용하게 적용될 수 있다.

기존에 다수 전문가의 의견을 종합하기 위해서는 단순하게 기하평균만을 구하든가, 분석자의 논리적 일관성을 고려하여 일관성 지수를 가중치로 이용함으로서 가중 기하평균을 구하는 방법이 이용되어왔다. 하지만 이러한 방법은 다수개의 쌍대비교행렬간에 존재할 수 있는 이상치를 찾아내지 못하는 한계를 내포하고 있다고 할 수 있다. 이에 본 연구에서는 이와 같은 방법의 한계점을 지적하고, 쌍대비교행렬간의 이상치를 찾아낼 수 있도록 대용가능이라는 개념을 제시하였다. 그리고 이를 델파이법의 절차와 연계시킴으로서 이상치를 제거한 후에 다수 전문가의 쌍대비교행렬을 종합할 수 있는 방법을 제안하였다. 차후에는 대용가능지수에 대한 명확한 기준을 제시함으로서, 이상치의 판별에 더욱 정밀을 기하는 연구가 요구된다 하겠다.

참 고 문 헌

[1] 김성철, 어하준, "AHP가중치 결정에서의 다수전문가 의견종합 방법", 「한국경영과학회지」, 제19권, 제3호, (1994).

[2] 이상설, "전문가의 일관성 및 평가성향이 고려된 계층적 의사결정에 관한 연구", 건국대학교 대학원 산업공학과 박사학위논문(1997).

[3] 近藤次郞, 「システム工學」, 丸善株式會社, 1970.

[4] 刀根 滉, 「ゲ-ム感賞 意思決定法」, 日科技連, 1995.

[5] Aczel, J. & T. L. Saaty, "Procedures for Synthesizing Ratio Scale Judgments", *Journal of Mathematical Psychology*, 27(1983), pp.93-102.

[6] S. Barnett & C. Storey, *Matrix Methods in Stability Theory*, Barnes & Noble, Inc., 1970.

[7] Thomas L. Saaty, "How to make a Decision :The Analytic Hierarchy Process," *Interfaces* 24/6, (1994), pp.19-43.

[8] Thomas L. Saaty, *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, 1980.

[9] Thomas L. Saaty, *The Analytic Network Process*, RWS Publications, 1996.