

# 부트스트래핑을 이용한 가중치 결정방법의 실질적 타당성 비교

정지안<sup>1</sup> · 조성구<sup>2</sup>

<sup>1</sup>신성대학 품질관리과 / <sup>2</sup>동국대학교 산업공학과

## Practical Validity of Weighting Methods : A Comparative Analysis Using Bootstrapping

Ji-Ahn Jeong<sup>1</sup> · Sung-Ku Cho<sup>2</sup>

For a weighting method to be practically valid, it should produce weights which coincide with the relative importance of attributes perceived by the decision maker. In this paper, 'bootstrapping' is used to compare the practical validities of five weighting methods frequently used; the rank order centroid method, the rank reciprocal method, the rank sum method, the entropic method, and the geometric mean method. Bootstrapping refers to the procedure where the analysts allow the decision maker to make careful judgements on a series of similar cases, then infer statistically what weights he was implicitly using to arrive at the particular ranking. The weights produced by bootstrapping can therefore be regarded as well reflecting the decision maker's perceived relative importances. Bootstrapping and the five weighting methods were applied to a job selection problem. The results showed that both the rank order centroid method and the rank reciprocal method had higher level of practical validity than the other three methods, though a large difference could not be found either in the resulting weights or in the corresponding solutions.

### 1. 서론

다속성의사결정(MADM; Multi-Attribute Decision Making) 문제는 목표달성의 척도가 되는 속성들이 다수일 때 서로 다른 속성값을 갖는 여러 대안들 중에서 최적의 대안을 선택하는 문제로서, 매우 다양한 분야의 의사결정문제를 모형화하는 데 사용된다. 특히 다속성의사결정문제는 불확실성을 고려하지 않고 대안의 수가 유한한 경우를 다루는 것으로 모형의 형태와 대안선택은 결과공간에 대해 정의된 가치함수에 의해 완전히 결정된다. 즉, 고려하는 속성의 수가  $n$ 개이고 대안의 수가  $m$ 개인 경우,  $i$ 번째 대안의 결과치 벡터를  $X_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in})$  라 하면(단,  $x_{ij}$ 는  $i$ 번째 대안의  $j$ 번째 속성에 대한 결과치), 최적대안은 각 대안  $i$ 의 가치를 평가하는 가치함수  $V(X_i)$ 에 의해 완전히 결정된다.

일반적으로 속성의 수  $n$ 이 커지면 의사결정자의 선호구조와 일치하는 함수  $V$ 의 형태를 완벽하게 찾아내기 어렵

기 때문에 함수의 형태를 제한하는 다양한 가정을 세워 문제를 단순화시키거나 기타 휴리스틱을 이용한 다양한 해법들이 많이 제시되어 왔다. 특히 그 중에서도 가치함수  $V$ 의 형태를 일차식으로 가정하는 선형모형이 사용의 간편성과 강건성으로 인해 가장 널리 사용되고 있는데, 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$V(X_i) = \sum_{j=1}^n w_j x_{ij}, \quad i=1, 2, \dots, m.$$

여기서  $w_j$ 는 속성  $j$ 의 가중치를 나타내고 일반적으로  $0 \leq w_j \leq 1$ 이고  $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ 이다.

이상에서 알 수 있듯이 가중치를 고려한 선형모형을 사용하여 다속성의사결정문제를 해결하기 위해서는 가중치를 정확하게 계산하는 것이 매우 중요하다. 가중치는 의사결정자가 생각하고 있는 각 속성의 상대적 중요도를 수치로 나타낸 것으로, 이를 위해서는 속성간의 가치절충(value

trade-off)이 필요하기 때문에 정확히 결정하기 어렵다. 가중치 결정방법은 의사결정 문제를 구체화할 때 영향을 미치는 여러 제약 조건에 따라 매우 다양하게 개발되어 있다. 그러나 이러한 방법을 사용하여 얻어진 가중치가 실제 의사결정자의 생각을 어느 정도 정확히 반영하는 값인지를 검증해 낼 수 있는 객관적인 방법이 없으며, 동일한 문제에서 서로 다른 가중치 결정방법을 사용하였을 경우 서로 다른 결과를 얻었다는 연구결과가 보고되어 있다(Hobbs, 1982; Schoemaker and Waid, 1982; Weber and Borcherding, 1993). 이들 결과를 요약하면 서로 다른 가중치 결정방법을 사용하여 내린 의사결정의 결과가 대부분의 경우 정확히 일치되지 않는다는 것으로, 어떤 가중치 결정방법이 가장 좋은 방법인가 하는 문제에 대해 일치된 견해를 찾을 수 없다는 것이다. 이러한 상황은 자신이 당면한 의사결정문제에 대해 적절한 가중치 결정방법을 적용하고자 하는 사용자에게 혼란을 야기할 수 있으며 또한 의사결정 결과에 대한 확신을 갖지 못하게 하는 원인이 될 수도 있다.

따라서 바람직한 가중치 결정방법은 어떤 성질을 가져야 하는가에 대한 논의가 필요하며 기존의 가중치 결정방법들에 대한 다양한 각도에서의 검증이 요구된다. 특히 도출된 가중치가 의사결정자의 생각을 얼마나 잘 반영하고

있는가를 나타내는 실질적 타당성(practical validity)은 의사결정 결과의 질을 결정하는 중요한 성질이지만, 의사결정자의 생각 자체를 객관적으로 잴 수 있는 완벽한 수단이 없기 때문에 그 동안 많은 연구가 이루어지지 못하였다. 본 연구의 목적은 여러 관련 문헌에서 자주 언급되고 있고 실제 문제해결에도 많이 사용되고 있는 몇 가지 기존의 가중치 결정방법의 실질적 타당성을 비교 평가해 봄으로써 사용의 정확성을 높이고자 하는 데 있다.

## 2. 가중치 결정방법

### 2.1 가중치 결정방법의 분류

의사결정 문제를 구성하는 환경에 따라 가중치 결정방법을 체계적으로 분류할 경우 사용자에게는 사용편리성을 제공할 수 있으며 의사결정 문제 자체의 이해에도 많은 도움이 된다. 가중치 결정방법의 구분은 분류기준에 따라 달라질 수 있으나, 본 연구에서는 기존 문헌에 대한 고찰을 통해 대수적 방법과 통계적 방법(algebraic vs. statistical methods), 직접적 방법과 간접적 방법(direct vs. indirect methods), 종합

표 1. 대수적 가중치 계산 방법의 분류

| 구 분              |          | 가중치 도출 방법(참고문헌)  |
|------------------|----------|--|
| 직접적 방법/<br>종합판단법 | 비계층구조    | Churchman-Ackoff method(Eckenrode, 1965; Hobbs, 1982; Kocaoglu, 1983)                          |
|                  | 계층/비계층구조 | rank order centroid method(Barron and Barrett, 1996; Olson et al., 1995; Olson, 1996.)         |
|                  | 계층/비계층구조 | rank reciprocal method(Barron and Barrett, 1996; Olson et al., 1995)                           |
|                  | 계층/비계층구조 | rank sum method(Barron and Barrett, 1996; Olson et al., 1995)                                  |
|                  | 계층/비계층구조 | rating method(Eckenrode, 1965; Goicoechea et al., 1982; Hobbs, 1982; Olson et al., 1995)       |
| 직접적 방법/<br>분해법   | 계층/비계층구조 | pairwise comparison method(Eckenrode, 1965)  |
|                  | 계층/비계층구조 | ratio method(Borcherding et al., 1991; Hobbs, 1982; Weber and Borcherding, 1993; Zeleny, 1982) |
|                  | 비계층구조    | swing procedure(Borcherding et al., 1991; Olson, 1996; Weber and Borcherding, 1993)            |
| 간접적 방법/<br>종합판단법 | 비계층구조    | entropic method(Hwang and Yoon, 1981; Soofi, 1990)   |
|                  | 비계층구조    | geometric mean method(Olson, 1996; Saaty, 1977; Sherali, 1982)                                 |
|                  | 비계층구조    | LINMAP(Hwang and Yoon, 1981)   |
|                  | 비계층구조    | weighted least square method(Cogger and Yu, 1985; Yoon, 1989)                                  |
| 간접적 방법/<br>분해법   | 계층구조     | composite priority method(Sherali, 1982)   |
|                  | 비계층구조    | constant-sum method(Krovak, 1987)  |
|                  | 계층구조     | eigenvector method(Cogger and Yu, 1985; Hwang and Yoon, 1981; Saaty, 1977; Saaty et al., 1983) |
|                  | 비계층구조    | indifference trade-off method(Borcherding et al., 1991; Goicoechea et al., 1982; Hobbs, 1982)  |

판단법과 분해법(holistic vs. decomposition methods)으로 구분하였다. 또한 이 구분 외에 의사결정자가 문제를 구성하는 방법에 따라 계층구조(hierarchy)와 비계층구조(non-hierarchy)로 구분할 수도 있다. <표 1>은 기존에 제시된 대수적 방법에 대해 이러한 분류기준을 적용하여 정리한 것이다. 이 구분에 의하면 모든 가중치 결정방법은 대수적/직접적/종합판단법과 같이 각 분류기준의 조합으로 자세히 분류할 수 있다.

한편 기존 문헌에서 찾아볼 수 있는 통계적 가중치 결정방법들로는 간접적/종합판단법으로 분류할 수 있는 몇 가지 방법이 있는데 conjoint procedure, regression analysis, maximum likelihood estimator, discriminant analysis 등이 그것이다. 그러나 이들 통계적 가중치 결정방법들이 적용될 수 있는 문제의 환경은 일반적인 다속성의사결정문제가 적용되는 환경과 많이 다르기 때문에 본 연구에서는 통계적인 방법에 대해 더 이상 언급하지 않기로 한다.

<표 1>에서 나타나듯이 대수적 방법에 대해서는 이제까지 많은 연구가 이루어졌음을 알 수 있다. 그러나 사용자의 입장에서 이러한 방법들 중 어떤 방법이 자신의 의사결정 문제에 가장 적합한 방법인지를 판단할 수 있는 명확한 기준이 마련되어 있지 못하며, 각 방법의 타당성을 비교할 수 있는 객관적 수단이 마련되어 있지 못하다.

## 2.2 객관적 모형과 부트스트래핑

다속성의사결정문제에 대해 다음과 같은 세 가지 조건 즉, 동일한 의사결정이 반복적으로 이루어지고, 과거의 의사결정 결과에 대한 자료를 사용할 수 있으며, 또한 미래도 과거와 유사할 것이라고 믿을 만한 충분한 이유가 있다면, 통계적 방법을 이용한 객관적 선형모형(objective linear model)을 사용하는 것이 가장 좋은 결과를 가져다 줄 수 있다고 하였다(Russo and Schoemaker, 1989). 그러나 현실적

으로 이와 같은 조건을 모두 갖춘 의사결정문제는 많지 않기 때문에 객관적 선형모형의 사용에 많은 제약이 따른다. 이와 같은 문제를 해결하는 한 방법으로 많은 수의 가상평가 대안들을 만들고, 각 대안에 대해 의사결정자가 신중하게 종합적 평가를 하도록 한 후, 통계적 방법으로 평가에 사용된 가중치를 도출하는 방법을 생각해 볼 수 있다. 이 방법을 부트스트래핑(bootstrapping)이라고 하는데, 이 방법의 장점은 의사결정자가 마음속으로 느끼고 있는 각 속성별 상대중요도를 구체적인 가중치로 정량화하기 어려워한다 하더라도 많은 수의 가상 문제에 대한 종합적 선호만 제공하면 비교적 의사결정자의 생각이 잘 반영된 가중치를 계산할 수 있다는 점이다.

많은 학자들이 다양한 문제에 대해 부트스트래핑을 이용한 선형의사결정모형이 직관에만 의존해 대안을 선정하는 방법이나 객관적 선형모형에 비해 얼마나 잘 결과를 예측할 수 있는지를 실험해 본 결과가 <표 2>에 제시되어 있다(Russo and Schoemaker, 1989, p.134~137). <표 2>를 보면 알 수 있듯이, 적용해 본 문제들은 모두 앞서 언급한 세 가지 조건이 만족되어 객관적 선형모형의 적용이 가능했던 경우들이었으며, 역시 이 경우 객관적모형의 예측력이 제일 높음을 보여주고 있다. 흥미로운 점은 직관적 판단으로부터 얻어낸 가중치를 사용하여 예측한 부트스트래핑법이 직관적 판단 자체보다 예측력이 높다는 것이다.

<표 2>가 보여주고 있는 것은 부트스트래핑법이 실제 의사결정 결과를 얼마나 잘 예측할 수 있나 하는 것이지, 의사결정자의 마음속에 있는 상대중요도와 얼마나 일치되는 가중치를 주는가 하는 것은 아니다. 부트스트래핑법과 실제결과와의 상관관계가 그다지 높지 못한 것은 의사결정자가 중요하다고 느끼는 속성들이 실제결과를 예측하는데는 그만큼 중요하지 않을 수도 있었다는 것을 말해줄 뿐이다. 중요한 것은 직관적인 종합판단보다 부트스트래핑법에 의한 판단이 의사결정자의 생각을 더 체계적으로 모형

표 2. 부트스트래핑과 실제결과의 상관정도

| 적용문제                  | 직관적 방법 | 부트스트래핑법 | 객관적 모형 |
|-----------------------|--------|---------|--------|
| 대학원생의 학업성적            | 0.19   | 0.25    | 0.54   |
| 암환자의 예상수명             | -0.01  | 0.13    | 0.35   |
| 주가의 변화                | 0.23   | 0.29    | 0.80   |
| 개인검사에 의한 정신질환         | 0.28   | 0.31    | 0.46   |
| 심리학과학생들의 성적과 태도       | 0.48   | 0.56    | 0.62   |
| 재무비율을 이용한 사업실패        | 0.50   | 0.53    | 0.67   |
| 효과적 교수법의 학생들의 평가      | 0.35   | 0.56    | 0.91   |
| 생명보험판매인의 수행도          | 0.13   | 0.14    | 0.43   |
| Rorschch 검사를 이용한 IQ점수 | 0.47   | 0.51    | 0.54   |
| Mean                  | 0.33   | 0.39    | 0.64   |

화한 결과이기 때문에 더 효율적이라는 것이다. 본 연구에서는 부트스트래핑을 통해 얻은 가중치가 의사결정자의 마음속에 있는 상대가중치를 대표하는 값이라고 보고 기존의 가중치 결정방법들의 실질적 타당성을 비교 평가하는 기준으로 사용한다.

### 2.3 비교대상 가중치 결정방법 소개

앞서 언급한 모든 대수적 가중치 결정방법들의 실질적 타당성을 비교 평가하는 것이 바람직하겠으나 의사결정 문제가 계층구조인 경우 적용할 수 없는 가중치 결정방법이 많이 있다. 본 연구에서는, 다수의 문헌에서 선형모형에 적용해본 결과 의사결정의 질이 좋은 것으로 보고된 순위중심화법(Rank Order Centroid Method; ROCM), 순위를 이용하는 또 다른 방법들인 역순위법(Rank Reciprocal Method; RRM)과 순위합법(Rank Sum Method; RSM), 그리고 역시 여러 문헌에 자주 인용되는 엔트로피법(Entropic Method; EM)과 기하평균법(Geometric Mean Method; GM) 등 다섯 가지 방법을 부트스트래핑법(Bootstrapping Method; BM)에 의한 결과와 비교 평가하고자 한다. 이 후 가중치 결정방법은 영문약자로 표시한다. 다섯 가지 가중치 계산방법을 소개하면 다음과 같다.

#### (1) ROCM

각 속성의 순위(rank)가 주어지면, 아래의 계산식에 의하여 가장 순위가 높은 속성부터 순서대로 가중치를 구한다. 아래 (2), (3)의 방법도 모두 순위를 사용하여 가중치를 계산한다.

$$w_j = \frac{1}{n} \sum_{k=j}^n \frac{1}{k}, \quad j=1, 2, \dots, n.$$

#### (2) RRM

$$w_j = \frac{\frac{1}{j}}{\sum_{k=1}^n \frac{1}{k}}, \quad j=1, 2, \dots, n.$$

#### (3) RSM

$$w_j = \frac{n+1-j}{\sum_{k=1}^n k} = \frac{2(n+1-j)}{n(n+1)}, \quad j=1, 2, \dots, n.$$

#### (4) EM

엔트로피를 사용하여 가중치를 계산하며, 의사결정 문제를 행렬  $D = [x_{ij}] (i=1, 2, \dots, m, j=1, 2, \dots, n)$ 인 것으로 가정하고 다음과 같이 4단계의 계산에 의해 가중치를 결정한다.

단계 1: 의사결정의 요소 각각을 아래 식과 같이 정규화하여  $p_{ij}$ 를 결정한다.

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}, \quad \forall i, j$$

단계 2: 정규화 행렬  $p_{ij}$ 에 의하여 엔트로피  $E_j$ 를 결정한다.

$$E_j = -k \sum_{i=1}^m p_{ij} (\ln p_{ij}), \quad \forall j$$

이때,  $k = \frac{1}{\ln m}$ 로  $0 \leq E_j \leq 1$ 임을 보장한다.

단계 3: 각 속성의 엔트로피 값으로 다양성 정도(degrees of diversification)  $d_j$ 를 결정한다.

즉,  $d_j = 1 - E_j, \forall j$ 이다.

단계 4: 다양성정도  $d_j$ 를 아래와 같이 정규화하여 각 속성의 가중치  $w_j$ 를 결정한다.

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j}, \quad \forall j$$

#### (5) GM

이 방법은 각 대안의 동일 요소에 대하여 기하평균을 구하고, 각 기하평균의 합과 개별 속성을 정규화하여 가중치를 계산하는 방법이다. 이에 대한 계산식은 아래와 같이 정의하여 사용한다.

$$w_j = \frac{g_j}{\sum_{j=1}^n g_j}, \quad \text{이때 } g_j = \left\{ \prod_{i=1}^m x_{ij} \right\}^{\frac{1}{m}}, \quad \forall j$$

## 3. 비교대상 가중치 결정방법들의 주요 특성

실질적 타당성의 문제를 논하기 앞서, 본 연구에서 비교 평가할 다섯 가지 가중치 결정방법들의 주요 특징 또는 적용상의 장단점을 먼저 살펴보면 다음과 같다.

### 3.1 순위사용 계산법

순위만을 사용하여 가중치를 계산하는 방법들은 속성의 수가 정해지면 순서대로 할당하는 가중치의 값이 동일하다. 본 연구에서 비교할 세 가지 방법인 ROCM, RRM, RSM에 대해서 의사결정 문제가 5개의 속성으로 구성된 문제로 생각하고 가중치와 누적가중치를 계산하여 정리한 것이 <표 3>이다.

이 결과에 의하면 가중치 계산결과가 매우 상이하기 때문에 어떤 방법을 사용해야 할지 구분하기 어렵다. 참고로 누적가중치를 보면 ROCM법이 다른 방법에 비하여 현저하게 중요속성에 더 많은 가중치를 할당하게 됨을 알 수 있다.

또한 위의 방법 외에도 직접적/종합적 가중치 결정방법에

표 3. 순위 사용법의 가중치와 누적가중치(n=5)

| 순 위 | ROCM  |       | RRM   |       | RSM   |       |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|     | 가중치   | 누적가중치 | 가중치   | 누적가중치 | 가중치   | 누적가중치 |
| 1   | 0.457 | 0.457 | 0.438 | 0.438 | 0.333 | 0.333 |
| 2   | 0.257 | 0.714 | 0.219 | 0.657 | 0.267 | 0.600 |
| 3   | 0.156 | 0.870 | 0.146 | 0.803 | 0.200 | 0.800 |
| 4   | 0.090 | 0.960 | 0.110 | 0.913 | 0.133 | 0.933 |
| 5   | 0.040 | 1.000 | 0.087 | 1.000 | 0.067 | 1.000 |

표 4. 엔트로피법에서 속성의 차이에 따른 가중치의 변화

| 대 안                 | 속 성 | 속성 1  | 속성 2  | 속성 3  | 속성 4   |
|---------------------|-----|-------|-------|-------|--------|
| 대 안 1               |     | 2.0   | 1,500 | 5.5   | 10,000 |
| 대 안 2               |     | 2.5   | 2,700 | 6.5   | 10,000 |
| 대 안 3               |     | 1.8   | 2,000 | 4.5   | 비교 값   |
| 비교값이 10,000일 때의 가중치 |     | 0.192 | 0.553 | 0.234 | 0.021  |
| 비교값이 12,000일 때의 가중치 |     | 0.188 | 0.542 | 0.228 | 0.042  |
| 비교값이 14,000일 때의 가중치 |     | 0.152 | 0.441 | 0.187 | 0.220  |
| 비교값이 16,000일 때의 가중치 |     | 0.127 | 0.373 | 0.157 | 0.343  |
| 비교값이 18,000일 때의 가중치 |     | 0.106 | 0.306 | 0.129 | 0.459  |
| 비교값이 20,000일 때의 가중치 |     | 0.091 | 0.263 | 0.111 | 0.535  |

속하는 다른 방법들도 순위를 이용하는데, 이들 방법들은 대체로 속성의 수가 많은 경우 사용되기 어려운 방법들이다. 다속성의사결정 모형에서 속성의 수에 대한 연구결과 대체적으로 5개 이하로 제한하고 있다(Olson, 1996, p.171).

그렇지만 순위 이용 가중치 결정방법은 몇 가지 중요한 적용상의 장점을 가지고 있다. 즉, 의사결정자들은 대부분 마음속으로 생각하는 속성간 상대적 중요성의 순위를 정확하게 가려낼 수 있다는 것, 순위에 대한 일관성이 매우 높다는 것, 문제를 구성하는 속성의 범위의 크기에 관계없이 안정적으로 결정한다는 것, 그리고 계산이 매우 쉽다는 것이 그것이다.

### 3.2 엔트로피법

엔트로피법은 일체의 주관적 판단이 개입되지 않고 문제를 구성하는 속성의 데이터 값에만 의존하여 가중치를 계산할 수 있기 때문에 많이 사용되는 방법이다. 그러나 이 방법의 문제점은 비교할 속성의 값이 어느 정도 차이가 나게 되면 매우 민감하게 반응한다는 점이다.

이 이유를 설명하기 위해, 인위적이기는 하지만 대안이 3개이고 속성이 4개인 문제로 생각하고, 같은 문제에 대해서 대안 3과 속성 4에 해당하는 한 속성을 비교 값으로 정하여 그 값을 일정하게 2,000씩 차이를 두어 2배까지 변화시켰을 때의 가중치 계산결과를 표 4에 정리하여 놓았다. 비교 값의 변화에 대한 가중치의 변화를 살펴보면 비

교 값은 10,000에서 20,000으로 2배 증가한 반면 가중치는 0.021에서 0.535로 25.5배 증가했을 정도로 속성 값의 차이에 매우 심하게 반응한다. 이 결과에서 알 수 있는 것은 속성 자체에 대해 느끼는 의사결정자의 상대 중요도는 전혀 고려하지 않고 각 속성 값의 범위만을 고려하여 가중치가 결정되므로 의사결정자의 생각과는 매우 다른 결과를 얻게 될 가능성이 있다는 점이다.

### 3.3 기하평균법

기하평균법은 의사결정 문제의 데이터를 정규화하여 기하평균을 계산하고 이 값을 가중치로 결정하는 방법이다. 이 방법도 엔트로피법과 같이 데이터에만 의존하여 계산하기 때문에 다른 외적요소에 영향받지 않는 방법이지만 그 특성은 엔트로피법과는 완전히 반대의 경향을 나타내고 있다. 즉, 의사결정 문제를 구성하는 값들의 편차가 클 경우에 오히려 값의 편차를 평균으로 수렴시켜 각 속성치간의 지나친 영향을 줄여주게 되는 방법으로 편차가 큰 데이터를 갖는 문제에 이 방법의 사용이 권장된다. 기하평균법의 특징을 설명하고 엔트로피법과 비교하기 위하여 엔트로피법에서 사용된 동일한 데이터에 대해서 기하평균을 계산한 결과가 <표 5>이다. <표 4>에서와 같이 비교 값의 변화는 2배인 반면, 가중치의 변화는 0.96배로 오히려 약간 감소했음을 알 수 있는데, 이것은 엔트로피법과의 차이를 극단적으로 보여주는 예이다.

표 5. 기하평균법에서 속성차이에 따른 가중치

| 대안 \ 속성             | 속성 1  | 속성 2  | 속성 3  | 속성 4   |
|---------------------|-------|-------|-------|--------|
| 대안 1                | 2.0   | 1,500 | 5.5   | 10,000 |
| 대안 2                | 2.5   | 2,700 | 6.5   | 10,000 |
| 대안 3                | 1.8   | 2,000 | 4.5   | 비교 값   |
| 비교값이 10,000일 때의 가중치 | 0.251 | 0.246 | 0.250 | 0.253  |
| 비교값이 12,000일 때의 가중치 | 0.251 | 0.246 | 0.250 | 0.253  |
| 비교값이 14,000일 때의 가중치 | 0.251 | 0.247 | 0.251 | 0.251  |
| 비교값이 16,000일 때의 가중치 | 0.252 | 0.248 | 0.252 | 0.248  |
| 비교값이 18,000일 때의 가중치 | 0.253 | 0.248 | 0.253 | 0.246  |
| 비교값이 20,000일 때의 가중치 | 0.254 | 0.249 | 0.254 | 0.243  |

#### 4. 직장선택문제를 이용한 실질적 타당성의 비교분석

##### 4.1 부트스트래핑에 의한 가중치 계산

부트스트래핑법의 효과에 대해서는 2.2절에서 이미 언급하였다. 이 방법은 의사결정자가 느끼고 있는 각 속성의 상대중요도를 비교적 정확하게 반영한다는 장점이 있는 반면, 많은 수의 가상의 대안을 구성하고 이에 대해 종합 평가한 결과를 분석 처리해야 하기 때문에 많은 시간과 노력이 필요하다는 단점이 있다.

분석을 위해 사용된 문제는 직장선택 문제였다. 직접 실험에 참여한 피실험자는 대학 3학년생 16명이었는데 연령별로는 21세와 26세가 각 1명, 23세가 3명이었고 나머지 11명은 24세로 평균연령은 23.8세였다. 이들은 모두 취업에 많은 관심을 가지고 있었기 때문에 설문문의 내용을 이해하고 점수를 부과하는 데는 별 어려움이 없을 것으로 판단되었다.

부트스트래핑법으로 피실험자 각자가 느끼는 가중치를 도출해내기 위한 설문은 50개의 대안(회사)과 5개의 속성(년간매출액, 당기순이익, 대졸초봉, 상여금, 최초승진년수)으로 구성하였다. 일반적으로 직장선택을 위해 고려할 수 있는 속성들은 이외에도 많이 있을 수 있겠으나 분석의 편의를 위하여 정량적 데이터만으로 고려대상 속성을 구성하였다. 피실험자에게 주어진 50개의 대안과 그 속성값에 관한 자료는 “97 환경 기업정보”에서 제공한 실제 자료였으며 회사명은 피실험자에게 밝히지 않았다. 피실험자의 임무는 주어진 50개 회사 각각의 속성에 대한 정보를 마음속에서 종합적으로 평가하여 0점~100점 사이의 값으로 <표 6>과 같이 점수를 부과하는 것이다.

분석을 위해 위의 데이터에 대하여 속성 값이 클수록 좋은 경우에는 최소값과 최대값이 각각 0과 1이 되도록 하고 속성 값이 작을수록 좋은 경우에는 반대로 1과 0이 되게 정규화한 것이 <표 7>이다.

<표 7>의 정규화된 자료를 이용하여 회귀계수를 구한다. 예를 들어 이 방법으로 피실험자 1의 회귀식을 계산한 결과는  $y = 51.5x_1 + 1.53x_2 + 55.0x_3 + 30.4x_4 + 46.5x_5$  이고, 또한 이 회귀계수를 정규화한 값 0.279, 0.008, 0.298, 0.164, 0.251이 피실험자 1의 부트스트래핑법에 의한 각 속성의 가중치이다.

참고로, 점수를 부과하는 과정에서 실제로 얼마나 많은 속성을 고려하였는지를 물어보았는데 5개의 속성 모두를 고려하기보다 가장 중요하다고 생각하는 2~3개의 속성을 주로 고려하여 점수를 주었다고 응답한 피실험자가 14명이었다.

표 6. 부트스트래핑법으로 가중치를 도출하기 위한 대안들의 구성과 응답 예

| 번호  | 대졸 초임 (만원) | 당기 순이익 (억원) | 최초 승진 (년) | 년 매출액 (억원) | 상여금 총액 (%) | 점 수 |
|-----|------------|-------------|-----------|------------|------------|-----|
| 1   | 106        | 98.97       | 4         | 1,169      | 700        | 83  |
| 2   | 78         | 3.75        | 2         | 123        | 500        | 50  |
| ... | ...        | ...         | ...       | ...        | ...        | ... |
| 50  | 101        | 38          | 4         | 1,650      | 600        | 69  |

표 7. 자료의 정규화

| 번호  | 대졸 초임 (만원) | 당기 순이익 (억원) | 최초 승진 (년) | 년 매출액 (억원) | 상여금 총액 (%) | 점 수 |
|-----|------------|-------------|-----------|------------|------------|-----|
| 1   | 0.4294     | 0.1259      | 0.5000    | 0.0001     | 0.3750     | 83  |
| 2   | 0.0489     | 0.0001      | 0.8333    | 0.0006     | 0.1250     | 50  |
| ... | ...        | ...         | ...       | ...        | ...        | ... |
| 50  | 0.3614     | 0.0453      | 0.5000    | 0.1600     | 0.2500     | 69  |

##### 4.2 기존 방법으로 얻은 가중치와 의사결정 결과

표 8. 회사선택 문제 데이터

| 항 목 \ 대 안   | A      | B      | C      | D      | E      | F      |
|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 대졸초임(십만원)   | 5.3700 | 6.0500 | 5.3000 | 6.1000 | 5.5100 | 5.9100 |
| 당기순이익(억원)   | 4.3800 | 0.6100 | 8.3100 | 3.1100 | 0.5000 | 1.6000 |
| 최초승진(년)     | 3.0000 | 3.0000 | 7.0000 | 4.0000 | 4.0000 | 3.0000 |
| 년매출액(조원)    | 1.8379 | 1.0665 | 1.7095 | 1.5578 | 2.0718 | 2.0088 |
| 상여금총액(100%) | 6.5000 | 6.0000 | 9.0000 | 8.0000 | 7.5000 | 5.5000 |

표 9. 피실험자별 가중치 계산결과

| 구 분   | 대졸초임 | 당기순이익 | 최초승진  | 년매출액  | 상여금총액 |       |
|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 피실험자1 | BM   | 0.279 | 0.008 | 0.298 | 0.164 | 0.251 |
|       | ROCM | 0.456 | 0.040 | 0.090 | 0.257 | 0.157 |
|       | RRM  | 0.438 | 0.088 | 0.110 | 0.219 | 0.145 |
|       | RSM  | 0.333 | 0.067 | 0.133 | 0.267 | 0.200 |
|       | EM   | 0.216 | 0.151 | 0.206 | 0.213 | 0.214 |
|       | GM   | 0.283 | 0.097 | 0.189 | 0.084 | 0.347 |
| ...   | ...  | ...   | ...   | ...   | ...   |       |

표 10. 의사결정 결과

| 구 분   | 대 안 순 위 |                       |
|-------|---------|-----------------------|
| 피실험자1 | BM      | C → F → D → A → E → B |
|       | ROCM    | C → E → A → B → F → D |
|       | RRM     | C → E → A → B → F → D |
|       | RSM     | D → E → B → A → F → C |
|       | EM      | D → F → E → A → C → B |
|       | GM      | D → B → E → C → F → A |
| ...   | ...     |                       |

부스트래핑법으로 얻은 가중치를 사용하여 의사결정한 결과와 기존의 가중치 결정방법들을 사용하여 의사결정한 결과 사이에 어느 정도의 유사성이 있는지를 알아보기 위해서는, 우선 기존 방법들을 사용한 경우의 가중치를 계산해야 하고, 이 결과를 부스트래핑법으로 얻은 가중치와 함께 여러 차례 가상의 직업선택문제에 적용하여 그 결과를 비교해 보아야 할 것이다. ROCM, RRM, RSM과 같이 순위만 사용하는 방법인 경우, 피실험자 각자에게 다섯 가지 속성에 대한 중요도 순위를 결정하게 한 다음 이를 이용하여 2.3절의 공식을 적용하면 가중치를 구할 수 있는데 이 가중치들은 모든 직업선택 문제에 적용할 수 있는 것이다. 그러나 엔트로피법과 기하평균법의 경우에는, 속성 간 순위는 필요 없지만, 각 문제별로 주어진 데이터 행렬을 이용하여 가중치를 계산해야 한다.

총 11개의 가상 직업선택문제에 대해 부스트래핑법(BM)으로 얻은 가중치와 기존 방법으로 얻은 가중치를 적용하여 나온 결과를 비교해 보았는데 표 8은 그 중의 한 문제를 예로 보여준 것이다. 나머지 10개의 문제도 모두 예에서와 같이 6개의 대안(회사)과 5개의 속성들로 구성되어 있다. <표 9>는 <표 8>의 문제에 대해서 피실험자 별로 가중치를 계산한 결과의 일부를 보여준 것이고, <표 10>은 이 가중치들을 이용한 선행모형을 <표 8>의 문제에 적용하여 대안들에 대한 선호순서를 결정한 결과의 일부를 보여준 것이다.

자세한 분석에 들어가기 앞서 <표 9>와 <표 10>에 나타난 결과만 보아도 가중치 결정방법들간에 상당한 차이를 보이고 있음을 알 수 있다. 가중치 자체뿐만 아니라 대안들의 순위도 완전히 상이한 결과를 보이고 있어 어느

방법이 옳은 것인지 분간하기 어렵다. 물론 이 예는 하나의 직업선택문제에 대해 피실험자 1인의 결과를 보여준 것이므로 전체적으로는 이와 같은 결과를 총  $16 \times 11 = 176$ 회에 걸쳐 얻을 수 있었으며 이에 대한 자세한 분석은 다음 절에서 한다.

#### 4.2 가중치 결정방법들의 비교분석

본 연구에서는 부트스트래핑(BM)법에 의해 구한 가중치와 기존 방법들에 의해 계산한 가중치의 유사성을 단순 비교하기 보다, 각 방법을 통해 얻은 가중치를 다수의 의사결정 문제에 적용하여 얻은 해의 유사성을 비교하여 기존 가중치 방법들의 실질적 타당성을 평가하였다. 즉, 각 피실험자별로 의사결정문제 각각에 대해 얻은 <표 10>과 같은 결과에 대해, BM을 적용하여 얻은 대안순위에 비해 각 기존방법을 적용했을 때 얻은 순위가 얼마나 다른가를 측정하여 실질적 타당성을 평가하였다.

두 개의 상이한 대안순위가 서로 얼마나 다른가 하는 것은, 그 중 한 대안순위에 대해 바로 이웃하는 대안끼리의 자리바꿈을 몇 번하면 두 대안순위가 같아지는가 하는 것으로, 즉 필요한 자리바꿈의 횟수로 측정할 수 있다. 예를 들어, 표 10에서 피실험자 1의 BM 결과와 ROCM 결과는 각각  $C \rightarrow F \rightarrow D \rightarrow A \rightarrow E \rightarrow B$  와  $C \rightarrow E \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow F \rightarrow D$ 인데, 후자가 전자와 같아지려면 이웃하는 대안끼리의 자리바꿈을 7번해야 한다. 왜냐하면 5번째에 위치한 F가 2번째로 옮겨오려면 앞의 B, A, E와 3번 연속 자리바꿈을 해야 하고, 그 다음 맨끝에 있는 D가 3번째로 자리를 옮겨려면 역시 앞에 있는 B, A, E와 3번 연속 자리바꿈을 해야 하며, 마지막으로 E와 A가 자리바꿈하면 두 대안순위가 완전히 같아지기 때문이다. 마찬가지로 방법으로 BM 결과와 GM 결과를 비교하면 총 9번의 자리바꿈을 해야 두 순위가 같아짐을 알 수 있다. 따라서 이 예에서는 GM보다 ROCM이 더 BM의 결과와 유사한 결과를 냈다고 말할 수 있다.

이와 같은 방법으로 11개의 의사결정문제와 16명의 피실험자별로 총 176개의 <표 10>과 같은 순위결과에 대해 자리바꿈 횟수를 계산하고 피실험자별로 평균한 결과가 <표

11>이다. <표 11>의 우측 열에는 전체 피실험자에 대한 자리바꿈 횟수의 평균과 표준편차가 나와 있다.

<표 11>의 결과에 나타난 평균값과 표준편차를 보면 전체적으로 순위를 이용하는 방법들이 EM이나 GM보다 더 BM의 결과와 유사한 결과를 내고 있음을 알 수 있고, 그 중에서도 ROCM이나 RRM이 특히 더 유사해서 실질적 타당성이 상대적으로 높은 것으로 나타났다. EM이나 GM의 실질적 타당성이 가장 낮게 나온 것은 어느 정도 예상할 수 있는 결과인데, 이것은 EM이나 GM 모두 의사결정자가 느끼는 속성에 대한 상대 중요도를 전혀 고려하지 않는 방법이기 때문이다. 평균 자리바꿈 횟수가 특별히 낮은 방법이 없었던 것을 보면 다른 방법들도 BM과의 유사성이 높은 편이라고 말하기는 어려운 것 같다. 그러나 의사결정자의 생각을 가급적 잘 반영할 수 있는 의사결정이 되기 위해서는, 가중치를 결정하기 위해 부트스트래핑과 같은 복잡한 방법을 사용하지 않는다 하더라도, 최소한 속성별 순위라도 이용하는 방법을 사용해야 할 것이며 그 중에서도 ROCM이나 RRM을 사용하는 것이 더 바람직해 보인다. 이와 같은 결과에 대해 좀 더 확신을 갖기 위해서는 다른 유형의 의사결정문제에 대한 더 광범위한 증거 수집이 필요할 것이다.

#### 5. 결론

본 연구는 사용자 입장에서 혼동을 일으킬 수 있을 만큼 여러 종류의 가중치 결정방법들이 나와 있으나 상대적 우수성의 평가기준이 모호한 현실에서, 실제로 많이 쓰이는 다섯 가지 방법들에 대한 실질적 타당성을 비교 평가해 보고자 수행되었다. 가중치 결정방법의 실질적 타당성은 의사결정자가 마음속으로 느끼고 있는 속성들의 상대적 중요도를 얼마나 잘 반영하는가 하는 정도로 정의할 수 있다. 물론 현실적으로 인간의 마음속에 있는 느낌을 정확하게 측정할 수 있는 도구는 없다. 그러나 마음속의 느낌을 정확히 수치화하기 어려워하는 사람들을 도와줄 수 있는 방법은 가능한데, 그 중 가중치 결정에 이용할 수 있는

표 11. BM 결과를 기준으로 한 필요 자리바꿈 횟수

| 가중치<br>계산<br>방법 | 피실험자 개인별 평균 자리바꿈 횟수 |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 전체 피실험자 |          |
|-----------------|---------------------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------|----------|
|                 | 1                   | 2    | 3    | 4   | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 16   | 평균      | 표준<br>편차 |
| ROCM            | 12.6                | 11.9 | 12.1 | 6.5 | 10.2 | 13.1 | 12.9 | 11.6 | 16.2 | 11.8 | 11.8 | 12.2 | 12.5 | 11.2 | 12.3 | 11.1 | 11.86   | 4.74     |
| RRM             | 13.9                | 12.8 | 12.1 | 5.6 | 11.1 | 13.0 | 13.5 | 12.8 | 16.3 | 13.6 | 12.1 | 12.6 | 12.9 | 11.0 | 12.9 | 13.2 | 12.46   | 5.20     |
| RSM             | 13.6                | 13.0 | 12.6 | 6.9 | 11.8 | 14.0 | 16.4 | 12.8 | 16.4 | 13.5 | 12.1 | 12.8 | 15.1 | 11.6 | 13.4 | 13.3 | 13.07   | 5.27     |
| EM              | 14.6                | 13.2 | 12.6 | 7.7 | 15.2 | 16.2 | 14.8 | 14.9 | 16.5 | 16.7 | 16.2 | 15.2 | 16.3 | 13.0 | 14.3 | 16.5 | 14.51   | 6.03     |
| GM              | 13.9                | 15.5 | 12.6 | 7.3 | 12.7 | 13.7 | 13.3 | 14.9 | 16.6 | 15.6 | 14.8 | 13.4 | 15.0 | 13.3 | 12.6 | 15.0 | 13.80   | 5.64     |



방법이 부트스트래핑이다. 본 논문에서는 이 부트스트래핑을 이용해 얻은 가중치가 의사결정자의 생각을 잘 반영한 가중치라 보고 여타 방법의 실질적 타당성을 평가하는 기준으로 삼았다. 직장선택문제라는 현실적 문제를 대상으로 ROCM, RRM, RSM, EM, GM 등의 다섯 가지 방법에 대해 실험한 결과를 분석해 보면, ROCM과 RRM이 다른 방법들보다 상대적으로 실질적 타당성이 높게 나왔으나 월등히 우수하게 나온 방법은 없었다.

좋은 가중치 결정방법과 나쁜 가중치 결정방법을 확실하게 구분지을 수 있는 단일 기준은 없다. 의사결정자가 주어진 의사결정 문제에 대해 사용할 모형과 사용할 가중치를 나름대로 타당성이 있다고 판단하여 결정하였다면 그 방법을 일관되게 적용하는 것이 더 필요할지도 모른다. 하지만 이렇게 되기 위해서는 의사결정문제 자체에 대한 이해와 가중치의 개념, 결정방법들의 특성 등에 대한 근본적인 이해가 전제되어야 한다. 본 연구의 결과가 이러한 이해를 증진시키는 데 다소나마 도움이 되었으면 한다. 앞으로 가중치 결정방법이 가져야 할 바람직한 성질들에 대한 체계적인 연구가 이루어지고, 이를 바탕으로 하여 주어진 상황에 가장 적합한 방법을 선정할 수 있는 합리적인 가이드가 마련될 수 있도록 하는 연구가 이루어져야 할 것이다.

## 참고문헌

- 정지안 (1997), 규범적 의사결정방법 ELECTRE와 가중치 도출방법의 비교 연구, *신성대학논문집* 제3집, 41~56.
- 정지안, 조성구 (1998), Bootstrapping을 이용한 다속성 평가에서의 가중치 도출 방법간의 비교, *대한산업공학회 '98 추계 학술대회 논문집* 831~835.
- Barron, F. H., and Barrett, B. E. (1996), Decision Quality Using Ranked Attribute Weights, *Management Science*, 42(11), 1515-1523.
- Borcherding, K., Eppel, T., and Von Winterfeldt, D. (1991), Comparison of Weighting Judgements in Multiattribute Utility Measurement, *Management Science*, 37(12), 1603-1619.
- Cogger, K. O., and Yu, P. L. (1985), Eigenweight Vectors and Least-Distance Approximation for Revealed Preference in Pairwise Weight Ratios, *Journal of Optimization Theory and Applications*, 46(4), 483-491.
- Eckenrode, R. T. (1965), Weighting Multiple Criteria, *Management Science*, 12(3), 180-192.
- Goicoechea, A., Hansen, D. R., and Duckstein, L. (1982), *Multiobjective Decision Analysis with Engineering and Business Applications*, John Wiley & Sons.
- Hobbs, B. F. (1982), A Comparison of Weighting Methods in Power Plant Siting, *Decision Sciences*, 11(4), 725-737.
- Hwang, C. L., and Yoon, K. S. (1981), *Multiple Attribute Decision Making Methods and Applications: A State-of-The-Art Survey*, NY, Springer-Verlag.
- Knoll, A. L., and A. Engelberg (1978), Weighting Multiple Objectives-The Churchman-Ackoff Techniques Revisited, *Computer and Operations Research*, 5(3), 165-177.
- Kocaoglu, D. F. (1983), A Participative Approach to Program Evaluation, *IEEE Transactions on Engineering Management*, EM-30(3), 112-118.
- Krovak, J. (1987), Ranking Alternatives-Comparison of Different Methods Based on Binary Comparison Matrices, *European Journal of Operational Research*, 32, 86-95.
- Olson, D. L., Flidner, G., and Currie, K. (1995), Comparison of the REMBRANDT System with Analytic Hierarchy Process, *European Journal of Operational Research*, 82, 522-539.
- Olson, D. L. (1996), *Decision Aids for Selection Problems*, New York: Springer-Verlag.
- Russo, J. E., and Schoemaker, J. H. (1989), *Decision Traps: The Ten Barriers to Brilliant Decision-Making and How to Overcome Them*, New York, Fireside.
- Saaty, T. L. (1977), A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures, *Journal of Mathematical Psychology*, 15(3), 234-281.
- Saaty, T. L., Vargas, L. G., and Wendell, R. E. (1983), Assessing Attribute Weights by Ratio, *Omega*, 11, 9-12.
- Schoemaker, P. J. H., and Waid, C. C. (1982), An Experimental Comparison of Different Approaches to Determining Weights in Additive Utility Models, *Management Science*, 28(2), 182-196.
- Schoner, B., and Wedley, W. C. (1989), Ambiguous Criteria Weights in AHP: Consequences and Solutions, *Decision Science*, 20, 462-475.
- Sherali, H. D. (1982), Equivalent Weights for Lexicographic Multiobjective Programs: Characterizations and Computations, *European Journal of Operational Research*, 11, 367-379.
- Soofi, E. S. (1990), Generalized Entropy-based Weight for Multiattribute Models, *Operations Research*, 32(2), 362-363.
- Weber, M., and Borcherding, K. (1993), Behavioral Influences on Weight Judgements in Multiattribute Decision Making, *European Journal of Operational Research*, 67, 1-12.
- Yoon, K. S. (1989), The Propagation of Errors in Multiple-attribute Decision Analysis: A Practical Approach, *Journal of Operations Research Society*, 40(7), 681-686.
- Zeleny, M. (1982), *Multiple Criteria Decision Making*, New York: McGraw-Hill.