

# AHP 가중치 도출을 위한 쌍대비교의 수정비율 개발

Development of Modified Ratio of Pairwise Comparison for Determining Weighting in AHP

여규동 Yeo Kyudong	인하대학교 수자원시스템연구소 선임연구원(제1저자) Senior Researcher, Institute of Water Resources System, Inha Univ.(Primary Author) (yeokd94@gmail.com)
김길호 Kim Gilho	인하대학교 대학원 토목공학과 박사과정 Ph.D. Candidate, Graduate School of Civil Engrg., Inha Univ. (kgh0518@gmail.com)
이상원 Lee Sangwon	인하대학교 경제학부 교수 Professor, Dept. of Economics, Inha Univ. (swlee@inha.ac.kr)

## 목 차

- I. 서론
- II. 이론적 고찰
  - 1. 기존 가중치 산정 관련 연구
  - 2. AHP의 가중치 산정방법과 의견 취합
  - 3. 기존 AHP의 문제점 분석
- III. 수정 비율을 이용한 쌍대비교의 척도구간 - 가중치 관계 개발
  - 1. 쌍대비교 설문과 척도구간-가중치의 관계 분석
  - 2. 척도구간의 수정 비율 도출
  - 3. 기존 비율과 수정 비율의 가중치 비교
- IV. 수정 비율척도를 이용한 AHP의 적용성 검토
  - 1. 수정 비율을 이용한 가중치 산정
  - 2. 유역종합치수계획 대안선정에 적용
- V. 결론

※ 본 논문은 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 건설기술혁신사업(08기술혁신F01)에 의한 차세대홍수방어기술개발연구단의 연구비 지원에 의해 수행되었음.

## I. 서론

다기준의사결정모형으로서 AHP가 있다. 이 기법은 「The Analytic Hierarchy Process(Saaty, 1980)」라는 저서가 발간되면서 처음 소개되었고, 미국무부의 무기통제 및 비무장부서에서 전략적인 정치 및 외교 분야에서의 협상과 tradeoff를 다루기 위해 규범적 이론을 사용하고자 10년에 걸친 실패를 거듭한 끝에 개발된 것이다(Saaty, 1995). 이후 미국, 캐나다, 중국, 싱가포르 등 여러 국가의 중앙정부와 지방정부, NASA, 포춘 500대 기업 등 세계 2만여 정부기관과 기업에서 활용되었다(한국수자원공사, 2002). 또한 1988년부터 ISAHP(International Symposium on the AHP for MCDM)를 통해 격년마다 AHP의 적용과 방법론에 관한 심포지엄이 열리고 있고, AHP와 관련한 논문 서두에는 항상 “국내외적으로 매우 많은 분야에서 적용되고 있다.”는 문장이 항상 언급될 정도로 실무에 많이 적용되고 있다. 이러한 배경으로 AHP는 복잡한 평가기준을 분류하여 체계적으로 계층을 나누고, 계산 과정이 명확하며, 정성적이든 정량적이든 평가항목 간의 선호도 측정이 가능하여 그 결과에 대한 일관성 측정이 가능하기 때문에 생각된다. AHP는 의사결정의 전 과정을 다수의 계층(level)으로 설계한 후, 계층별 기준 및 대안들의 중요도를 서로 비교하는 쌍대비교(pairwise comparisons)에 의해 단계별로 평가함으로써 최종적인 의사결정에 이르는 것을 지원하는 다기준의사결정기법의 하나로, AHP와 관련한 연구는 일일이 나열하기 어려울 정도로 많기 때문에 논문검색사이트를 통해 편수를 조사하였다. 학술연구정보서비스(RISS)에서 AHP를 검색한 결과, 2011년 7월 현재 국내 석박사 학위 논문 1,597편, 국내학술지 1,814편, 해외학술지 1,223편, 국내외 단행본·연구보고서·공개저널 677편이었으며, 다른 논문검색사이트를 포함한다면 그 수

는 더 많을 것이다. 또한 2000년대에 들어 AHP의 적용 사례가 매우 증가하였다. 이들 대부분의 연구는 교육, 에너지, 선거, 국방, 기업, 공공기관, 부동산, 의료, 복지, 도로, 항만, IT, 자동차, 조선, 환경, 건축, 관광, 스포츠, 주식 등 수많은 분야를 대상으로 하였으며, 대통령 선거, 적지 선정, 기업 선정, 노선 선정, 성과 평가, 요인 분석, 지표 개발, 우선순위 결정, 비교 평가 등의 방향으로 의사결정에 적용되었다. 실제 도로·철도·항만·수자원·공항 등의 공공사업 타당성을 평가하는 “예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정·보완 연구(한국개발연구원, 2004)”에서도 AHP를 적용하여 평가기준 간의 가중치를 구하고 종합점수를 부여함으로써 사업의 예비타당성을 평가하는 실정이다. 그러나 AHP의 구조적 문제점을 개선하는 국내의 연구는 없으며, 방법론을 그대로 적용한 수준이다. 외국에서도 대부분 적용과 관련한 수준이나, 쌍대비교의 언어적 의미를 수치로 변환하여 가중치를 산정한 연구한 사례는 몇몇 있다.

이러한 AHP의 방법에도 깊고 넘어가야 할 점이 있다. 다기준의사결정에서 가중치는 서수적이 아닌 기수적인 가중치가 적용되어야 하며, 이 값은 설문 응답자가 생각하는 가중치에 최대한 가깝게 도출되어야 한다. 기존의 AHP는 9점 척도구간을 가지며 구간별로 ‘극히 덜 중요’인 1/9에서 ‘같음’인 1, ‘극히 중요’인 9배의 값을 가지고 가중치를 산정한다. 이때 그 결과가 쌍대비교의 설문에 응답하는 전문가 또는 일반인이 생각하는 가중치와 가까운지 검토할 필요가 있다. 또한 개인의 의사결정이 아닌, 다수의 의견을 종합하는 집단 의사결정에 AHP를 적용 시, 전체 방법론에서 차이는 없으나, 집단 의사결정의 경우에는 개별 쌍대비교 응답결과를 기하평균으로 계산하여 행렬을 구성한 다음 집단의 가중치로 산정할 것인지(Aggregate Individual Judgement: AIJ), 혹은

개인별 우선순위벡터를 산술평균하여 집단의 가중치로 산정할 것인지(Aggregate Individual Priority: AIP)에 따라 결과에 차이를 보인다. AHP의 개발자인 Saaty는 기하평균을 이용한 AIJ 방식을 권하였기 때문에 기존에 AHP를 이용한 많은 연구들은 AIJ 방식을 따르고 있으며, 일부 AHP의 정확한 구조를 잘 모르는 연구자들은 기존에 가중치 산정 엑셀 또는 expert choice와 같은 관련 프로그램에 의한 결과를 의심 없이 받아들이는 실정이다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 실제 설문문을 통해 응답자가 인지하는 참값을 직접 점수응답법과 직접쌍대비교법으로 조사하여 결정하였고, 이를 이용하여 척도구간별 가중치의 관계를 수정하였다. 그리고 실제 의사결정자가 생각하는 가중치에 어느 방식이 가까운지 개별 쌍대비교 응답 결과를 기하평균으로 계산하여 행렬을 구성한 다음, AIJ 방식과 AIP 방식을 비교하였다. 이를 통해 설문 응답자가 인지하는 가중치에 가까운 값을 도출하는 방법을 제시하고, 아직도 논란이 되는 AIJ 방식과 AIP 방식의 차이에 대한 문제를 해결하였으며, 이는 의사결정분석 결과에 긍정적인 영향을 줄 것으로 생각된다. 본 논문에서는 AHP의 문제점에 대하여 인간의 계통적 오차(systematic error)와 관련한 편이(bias)나, 여러 개의 대안을 비교할 때 인간의 한정적인 사고능력과 논리적인 한계로 인한 오류 등은 연구대상에서 제외하였다. 왜냐하면 이는 현재 또는 미래에도 완전히 해결하기 힘든 점이며, AHP 또한 복잡한 의사결정상황을 계층으로 구분함으로써 편이 또는 인지의 오류를 줄이고자 노력한 결과물이기 때문이다. 따라서 본 논문은 상대적 중요도 산정 과정에서 발생하는 계산상의 문제점에 초점을 두었음을 밝힌다.

## II. 이론적 고찰

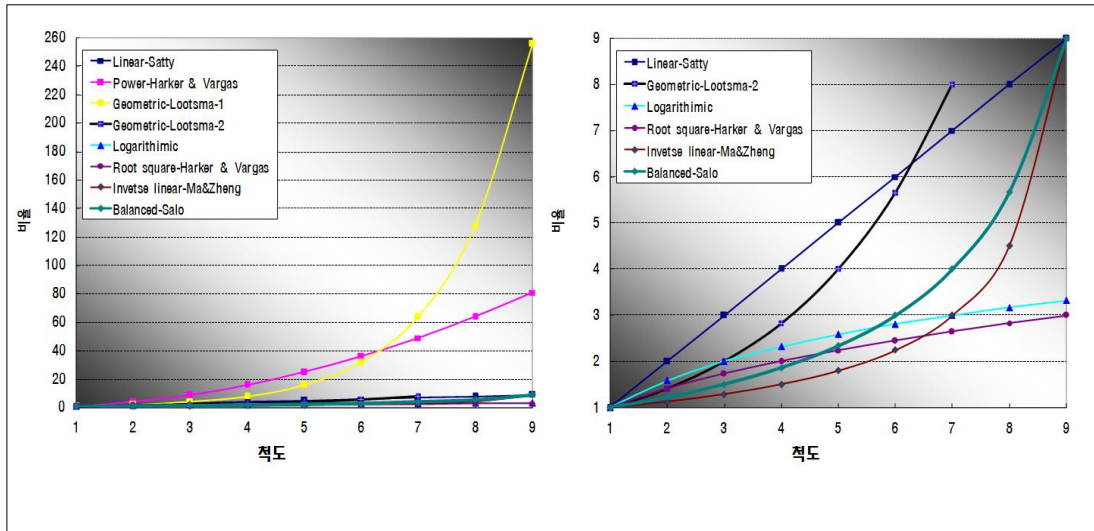
### 1. 기존 가중치 산정 관련 연구

#### 1) 쌍대비교의 비율척도에 관한 연구

AHP의 가중치 산정 시 척도에 대한 숫자부여는 대상과 측정의 관계에 대한 의문을 가지고, 이와 관련하여 많은 연구가 이루어졌으며, 쌍대비교에 대한 척도구간별 값에 관한 대표적인 연구를 정리하면 <표 1>과 같다. <그림 1>은 연구별 쌍대비교에 있어서 척도구간별 비율을 나타내고 있다.

Harker and Vargas(1987)는 제곱과 제곱근 형태의 척도를 적용하여 Saaty의 9점 척도를 옹호하였다. Lootsma(1989)는 기하학적 척도(geometric scale)가 9점 선형척도(linear scale)에 가장 적합하다고 하였다. Ma and Zheng(1991)은 척도별 가중치의 간격을 더 균일하게 하기 위해 역선형척도(inverse linear scale)를 제안하였다. Saloand and Hämmäläinen(1997)은 정수(integer)인 기존의 9점 척도는 척도 간에 불균일한 간격의 가중치를 산정함을 지적하고, 가중치가 0.1부터 0.9까지 균일하게 나뉘도록 하는 척도(balanced scale)를 제안하였다. Ishizaka et. al.(2011)은 쌍대비교에서 최대 9배는 크다고 판단하여 이를 줄이기 위해 대수척도(logarithmic scale)를 적용하였다. Dodd et. al.(1995)은 다수의 평가기준일 경우 기준 간의 가중치 차이가 지나치게 크므로 이를 줄이기 위해 역쌍곡선탄젠트함수(inverse hyperbolic tangent function)를 적용하였다. 그 외에도 다수의 연구가 수행되었으나, 이론적으로 척도별 어의와 비율 간의 관계에 있어서 Saaty의 가중치 산정방법에 대한 문제점을 제기한 이들 연구들도 각각의 방법에 의해 도출된 가중치과 실제 설문응답자들이 인지하는 값을 비교한 연구는 없으며, Saaty의 연구범위를

그림 1\_ 연구별 쌍대비교에 대한 척도구간별 비율



벗어나지 못하고 행렬을 그대로 이용하거나, 또는 변형하여 최종 가중치를 산정하는 연구가 대다수다. 또한 이들 척도 어의별 비율의 관계가 연구되었음에도 불구하고 대부분의 실무에서는 Saaty의 방법을 그대로 적용하고 있다.

## 2) 집단의견 취합방법에 관한 연구

집단의사결정의 경우에는 개별 쌍대비교 응답결과를 기하평균으로 계산하여 행렬을 구성한 다음 집단의 가중치로 산정할 것인지, 혹은 개인별 우선순위벡터를 산술평균하여 집단의 가중치로 산정할 것인지에 따라 차이를 보이는데, 이는 Forman and Peniwati (1998)가 AHP를 이용하여 집단의사결정을 할 때 정보를 취합하는 방법을 개발하는 연구에서 언급되었다. Aczé and Saaty(1983)와 Aczé and Roberts(1989)는 개인의 의견을 취합할 때 기하평균(geometric mean)이 파레토 원리(Pareto principle)와 균일성(homogeneity)을 만족한다고 주장하였으며, 이는 AIJ 방식이다. Forman and Peniwati(1998)는 가중치 취합

을 위한 최적의 수학적 절차는 집단이 쌍대비교를 작성할 때 의견을 일치하여 작성한 후 가중치를 산정하는 방법과 단지 개별 의견을 가중치로 취합하는 방법이 있으며, 전자는 기하평균을 이용한 AIJ 방식이, 후자는 기하평균과 산술평균이 가능한 AIP 방식이 적절함을 제시하였다.

또한 개별 의견을 취합할 때 개인들은 독립적으로 판단하기 때문에 파레토 원리는 적용이 불가능하므로 기하평균과 산술평균 모두 비율 척도에 적합하다고 하였다. Bryson(1996)은 의사결정자별 쌍대비교 결과를 합의된 집단가중치로 도출하기 위해 선형 계획문제로서 대수목표계획모형(logarithmic goal programming model)을 이용하여 AHP 행렬을 공식화하였고, 집단합의선호벡터 산정절차를 제시하였다. Chou et. al.(2007)은 개별 쌍대비교를 가중치로 산정한 후, 각각 비교하여 유사한 가중치에 중요도를 고려함으로써 전체 가중치로 산정하는 방법을 제시하였다. 그러나 이 방법은 개인마다 평가요소의 상대적 중요도가 다름을 인정하지 않는 문제점이 있다. Wu et. al.(2008)은 쌍대비교 설문에 대한 응답자

표 1\_ 기존 연구에서의 쌍대비교에 대한 척도구간별 값

척도구간 척도유형(연구자)	9점 척도(i)-비율(r) 관계식	척도구간	최대비율
Linear(Satty)	$r_i = i$	$i = (1, 2, \dots, 9)$	9
Inverse linear (Ma and Zheng. 1991)	$r_i = \frac{9}{(10-i)}$	$i = (1, 2, \dots, 9)$	9
Balanced (Salo and Hämmäläinen. 1997)	$r_i = \frac{0.5 + (i-1)s}{0.5 - (i-1)s}$	$i = (1, 2, \dots, 9)$ $s = 0.05 \text{ or } 1/17$	9
Power (Harker and Vargas)	$r_i = i^2$	$i = (1, 2, \dots, 9)$	81
Geometric (Lootsma. 1989)	$r_i = L^{(i-1)}$	$i = (1, 2, \dots, 9), L = 2,$ $i = (1, 2, \dots, 7), L = \sqrt{2},$	256 or 8
Logarithmic (Ishizaka et. al. 2011)	$r_i = \log_2(i+1)$	$i = (1, 2, \dots, 9)$	$3 \frac{1}{3}$
Rootsquare (Harker and Vargas. 1987)	$r_i = \sqrt{i}$	$i = (1, 2, \dots, 9)$	3
Asymptotical (Doddet. al. 1995)	$r_i = \exp\left[\tanh^{-1}\left(\frac{i-1}{H-i}\right)\right]$	$i = (1, 2, \dots, 8), H = 1 + \frac{14}{\sqrt{3}}$ or $i = (1, 2, \dots, 7), H = 1 + \frac{6}{\sqrt{2}}$	$\frac{3}{4}$

의 의견이 균등분포(uniform distribution)인 것으로 가정하고, AIJ와 AIP 방식 각각에 대하여 산술평균과 기하평균을 산정하여 비교하였다. 상대평균제곱오차(Relative Mean Square Errors: RMSE)를 통한 통계분석 결과, 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 그러나 이들 연구는 예시를 통한 수학적 풀이에 중점을 두고 연구를 수행하였기 때문에 어떠한 방식이 우월한지에 대한 명확한 해답을 제시하지 못하였다. 기존 의견취합관련 연구에서는 개별 가중치를 분석하여 차이가 날 경우 이를 제거하는 경우도 있다. 이는 기본적으로 집단의 의사결정에 있어서 소수의 의견을 배제하는 결과를 낳게 된다.

## 2. AHP의 가중치 산정방법과 의견 취합

AHP는 일반적으로 계층구조의 설계와 평가로 구성된다. 계층구조의 어느 한 수준에 속하는 요소들을 비교대상이 되는 요소들의 바로 위 수준에 속하는

어느 하나의 평가기준의 중요도나 기여도에 입각하여 서로 비교하게 된다. 이러한 비교과정을 통해 요소들의 선호도나 가중치를 나타내는 상대적인 측정척도가 얻어진다.

AHP는 의사결정의 전 과정을 다수의 계층(level)으로 설계한 후, 계층별 기준 및 대안들의 중요도를 서로 비교하는 쌍대비교법(paired comparisons method)에 의해 단계별로 평가함으로써 최종적인 의사결정에 이르는 것을 지원하는 다기준의사결정 기법이다. Saaty(1980)의 AHP기법은 인지심리학 분야의 연구결과에 기초하여 9점 척도를 기본으로 이용하여, 쌍대비교로 얻어진 척도로 쌍대비교행렬을 구성하여 여러 가지 정보를 추출하고, 일관성을 검토할 수 있는 틀을 제공하는 고유벡터법(eigen vector method)을 개발하였다. AHP의 쌍대비교척도는 1에서 9까지의 값을 가지며 각 수치의 해석은 다음의 <표 2>와 같다.

표 2\_ 쌍대비교의 기본척도

중요도	정의	설명
1	비슷함(equal importance)	어떤 기준에 대하여 두 활동이 비슷한 공헌도를 가진다고 판단됨
3	약간 중요함(moderate importance)	경험과 판단에 의하여 한 활동이 다른 활동보다 약간 선호됨
5	중요함(strong importance)	경험과 판단에 의하여 한 활동이 다른 활동보다 확실하게 선호됨
7	매우 중요함(very strong importance)	경험과 판단에 의하여 한 활동이 다른 활동보다 강하게 선호됨
9	극히 중요함(extreme importance)	경험과 판단에 의하여 한 활동이 다른 활동보다 극히 선호됨
2, 4, 6, 8	위 값들의 중간 값	경험과 판단에 의한 비교값이 위 값들의 중간에 해당한다고 판단될 경우 사용함

주: 활동 i가 활동 j에 대하여 위의 특정 값을 갖는다고 할 때, 활동 j는 활동 i에 대하여 그 특정 값의 역수 값을 가짐.  
 자료: Saaty, 1980.

1) AHP 기법의 수학적 배경

AHP 기법에 의한 가중치 산정과 일관성 검정의 수학적 배경(Saaty, 1980)을 조사하였다. 고유벡터법은 의사결정자가 한 수준에서 n개의 평가항목에 대해  $nC_2$  회의 쌍대비교를 수행하면  $n \times n$  행렬  $A = (a_{ij})$ 가 만들어지며, 이를 이용하는 방법이다. 이 행렬 A를 비교행렬(comparison matrix)이라 부른다. A는  $a_{ij} (i, j = 1, 2, \dots, n)$ 이고, 행렬 A는  $a_{ji} = 1/a_{ij}$ , 주대각선의 원소값이 모두 1이 되는 성질을 가지며, <식 1>과 같은 역수행렬(reciprocal matrix)이다.

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix} \quad \text{<식 1>}$$

여기서,  $a_{ji} = 1/a_{ij} \quad \forall i, j = 1, 2, \dots, n$

<식 1>과 같은 비교행렬에서 가중치로 구성된 벡터  $\vec{u} = (u_1, u_2, \dots, u_n)$ 를 산정하기 위해서, Saaty는 <식 2>와 같이 비교행렬 A의 주고유벡터(dominant eigen vector)에 의해서 해결할 수 있음을 제안하고 있다.

$$A\vec{u} = \lambda\vec{u} \quad \text{<식 2-a>}$$

$$|A - \lambda I| = 0 \quad \text{<식 2-b>}$$

$n \times n$  행렬 A의 고유치  $\lambda$ 와 그에 대한 고유벡터  $\vec{u} = (u_1, u_2, \dots, u_n)$ 는 <식 2>를 만족하는 스칼라  $\lambda$ 와 벡터  $u$ 를 말한다.  $\lambda$ 는  $A - \lambda I$ 는  $n \times n$ 의 단위행렬의 행렬식  $|A - \lambda I|$ 가 0이 되는 조건, 즉 고유방정식의 해로서 결정되며 고유방정식은  $\lambda$ 의 n차 대수방정식이고 일반적으로 n개의 근을 갖는데, 이것을 A의 고유치라고 한다.

$$A\vec{u} = \lambda_{\max}\vec{u} \quad \text{<식 3>}$$

우리가 연고자 하는 가중치벡터는 <식 3>의 해로서 결정되는  $\vec{u}$ 이고 여기서,  $\lambda_{\max}$ 는 행렬 A의 최대고유치를 뜻하며, 이때의  $\vec{u}$ 를 행렬 A의 주고유벡터라고 한다.

2) 집단의견의 가중치 합성

집단의 의사결정을 수행하는 방법과 개인의 의사결정을 수행하는 기본적인 알고리즘은 거의 동일하다고 할 수 있다. 다만 집단의사결정 시 가중치 산정방법에 있어서 AHP의 경우에는 개인별 쌍대비교행렬의 기하평균을 이용하여 집단의 쌍대비교행렬을 구성한 다음 집단의 우선순위벡터를 산정할 것인지, 혹

은 개인별 응답결과로 나온 우선순위벡터를 이용하여 집단의 우선순위벡터를 산정할 것인지에 따라 AIJ 방식과 AIP 방식으로 구분된다(한국개발연구원, 2003).

AIJ 방식은 개인별 쌍대비교로부터 얻어진 모든 쌍대비교행렬의 결과를 기하평균을 이용하여 집단 전체의 쌍대비교행렬을 구하는 방식이다. AIJ 방식은 의사결정에 관한 경험적인 자료나 선행연구가 부족하거나 이를 의사결정자가 정확히 알지 못하는 비전문가집단에 의한 의사결정 수행 시에 주로 이용된다. 이 방식을 선택하는 경우 의사결정에 참여하는 개인들의 지식들이 합쳐져서(pooling) 좀 더 정교한 집단 의사결정을 수행할 수 있도록 도와준다. 그러나 AIJ 방식을 이용하여 분석을 수행하는 경우, 일관성 지수(CI)를 어떻게 구할 것인가는 아직도 이론적인 기초가 부족한 상황이다. 즉 집단 의사결정의 질을 제대로 판단할 수 있도록 집단 의사결정이 얼마나 일관적으로 수행되었는지를 판단할 수 있는 지수개발이 현재로서는 다소 미흡한 실정이라고 할 수 있다(이창효, 1999).

AIP 방식은 일단 의사결정 참여자 개개인에게 제시한 쌍대비교행렬을 바탕으로 개인별 우선순위벡터를 구한 후, 개인별 우선순위벡터에서 다시 집단의 우선순위벡터를 산정하는 과정을 거친다. AIP 방식은 최종 우선순위벡터만을 활용하기 때문에 AIJ에 비해 가중치 부여단계에서 발생하는 편차를 중간단계에서 중화시키는 역할을 수행하기에는 미흡한 면이 있다. 이 때문에 의사결정 문제를 잘 파악하고 있는 전문가들의 의견을 종합할 경우에는 전문적인 의견을 희석시키지 않고 비교적 잘 반영할 수 있는 장점이 있다. 그러나 전문적인 의견이 상반된 결과로 나올 경우, 산술평균으로 이를 해결할 수 있을 것인지에 대한 판단이 어려운 등, 아직까지도 AIJ와 AIP 중 어떠한 방법을 사용해야 될지에 대한 이론적 뒷

받침이 명확하지 않은 상황이므로 이후 추가적인 연구를 통해 개선해 나갈 필요가 있다.

### 3. 기존 AHP의 문제점 분석

Saaty의 고유벡터법을 비롯한 여러 연구에서 가중치 산정은 설문대상자로부터 쌍대비교를 조사하고, 척도를 비율로 환산하여 쌍대비교행렬에 적용하는 방식이다. 이를 통해 언어적 표현을 절대적 수치로 변환하여 상대적 중요도를 산정한 후, 일관성을 측정하는 절차를 거친다. 이때 척도구간별 어의에 대한 숫자부여에 대하여 어떻게 적용하느냐에 따라 일관성과 정확도에 많은 영향을 끼친다. 본 논문에서는 일반적으로 설문응답자들이 쌍대비교 설문 시 척도간의 상대적 중요도에 대한 간격을 어떻게 이해하고, 그에 대한 값을 어떻게 부여하는지를 분석하여 기존의 AHP에 적용되는 척도의 문제점을 개선하고자 하였다.

첫 번째 문제는 AHP에서의 상대적 가중치를 산정하기 위해 적용되는 쌍대비교에 있어서 척도의 간격을 비율로 적용함으로써 간격이 동일하지 않다는 것에서 발생한다는 점이다. 즉, <표 2>에서와 같이 9점 척도에 적용되는 경우를 들어, 비교항목이 2개일 경우에는 A가 B보다 ‘약간중요’하면  $A:B = 3:1 = 0.75:0.25$ 의 가중치가 산정되고, 3개일 경우에는 A가 B보다 ‘약간중요’, B가 C보다 ‘약간중요’하면,  $A:B:C = 9:3:1 = 0.692:0.231:0.077$ 로 가중치가 산정된다. 또한 평가기준이 2개일 경우에 A가 B보다 ‘중요’하면,  $A:B = 5:1 = 0.833:0.167$ 가 되고, 3개일 경우에 A가 B보다 ‘중요’, B가 C보다 ‘중요’하면,  $A:B:C = 25:5:1 = 0.806:0.231:0.032$ 로 가중치가 산정됨을 알 수 있다. 그러나 위의 예시와 같이 A가 B보다 ‘약간중요’할 경우, 과연 설문응답자가 상대적인 중요도를 숫자로 부여할 경우에 그 값이 실제로

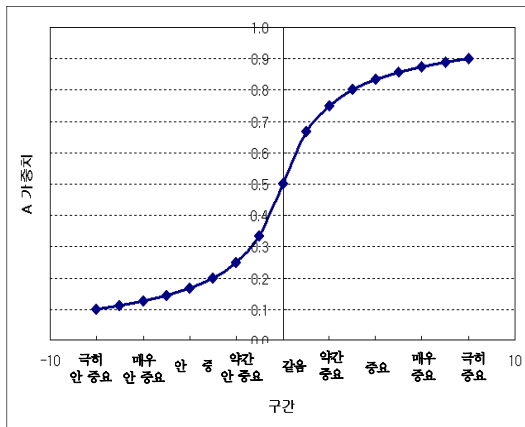
표 3\_AHP의 쌍대비교에 의한 척도 구간별 가중치

구분	극히 중요		매우 중요		중요		약간 중요		같은		약간 덜 중요		덜 중요		매우 덜 중요		극히 덜 중요
비율	9	8	7	6	5	4	3	2	1	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	1/7	1/8	1/9
가중치(%)	90.0	88.9	87.5	85.7	83.3	80.0	75.0	66.7	50.0	33.3	25.0	20.0	16.7	14.3	12.5	11.1	10.0
구간차		1.1	1.4	1.8	2.4	3.3	5.0	8.3	16.7	8.3	5.0	3.3	2.4	1.8	1.4	1.1	

표 4\_AHP의 쌍대비교에 의한 척도 구간별 가중치

응답자	쌍대비교			역수행렬	가중치	
	a : b	a : c	b : c		$w_a : w_b : w_c$	CR
$A_1$	1/5	1/7	1/1	$M_1 = \begin{pmatrix} 1 & 1/5 & 1/7 \\ 5 & 1 & 1 \\ 7 & 1 & 1 \end{pmatrix}$	0.078 : 0.435 : 0.487	0.012
$A_2$	1/2	3	6	$M_2 = \begin{pmatrix} 1 & 1/2 & 3 \\ 2 & 1 & 6 \\ 1/3 & 1/6 & 1 \end{pmatrix}$	0.300 : 0.600 : 0.100	0.000
$A_3$	2	1/4	1/8	$M_3 = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1/4 \\ 1/2 & 1 & 1/8 \\ 4 & 8 & 1 \end{pmatrix}$	0.182 : 0.091 : 0.727	0.000
$A_4$	1	1/6	1/7	$M_4 = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1/6 \\ 1 & 1 & 1/7 \\ 6 & 7 & 1 \end{pmatrix}$	0.115 : 0.113 : 0.773	0.080
산술평균(AIP 방식)					0.168 : 0.310 : 0.522	0.023
기하평균 (AIJ 방식)	0.6687 (430/643)	0.3656 (329/900)	0.5721 (234/409)	$M_{기하평균} = \begin{pmatrix} 1 & 430/643 & 329/900 \\ 643/430 & 1 & 234/409 \\ 900/329 & 409/234 & 1 \end{pmatrix}$	0.193 : 0.292 : 0.515	0.009

그림 2\_AHP의 척도에 의한 가중치



3:1로 부여할지 의문이 든다. 9점 척도에서 척도 간 가중치를 배율로 산정할 경우에는 <표 3> 및 <그림 2>와 같은 결과로 나타난다.

두 번째는 집단 의사결정 시 개개인의 의견을 집단

의 가중치로 산정하는 방식에 관해 아직도 의견이 분분하다는 점이다. 집단의사결정의 경우에는 개별 쌍대비교 응답결과를 기하평균으로 계산하여 행렬을 구성한 다음 집단의 가중치로 산정할 것인지, 혹은 개인별 우선순위벡터를 산술평균하여 집단의 가중치로 산정할 것인지에 따라 결과에 차이를 보인다. AHP의 상대적 가중치 산정 시 적용되는 비율척도는 기수적인 가중치가 아닌 서수적인 가중치의 개념이기 때문에 기본 공리를 이해하는 것이 중요하다. 그 중에서 역수비교는 설문응답자의 선호 강도가 역수 조건을 충족해야 하는 것으로 A를 B보다  $x$ 배 만큼 선호한다면 역으로 B는 A를  $1/x$ 만큼 선호한다는 것을 의미한다.

<표 4>의 예를 통해 알 수 있듯이, AIP 방식은

$$w_a : w_b : w_c = 0.168 : 0.310 : 0.522, \text{ AIJ 방식}$$

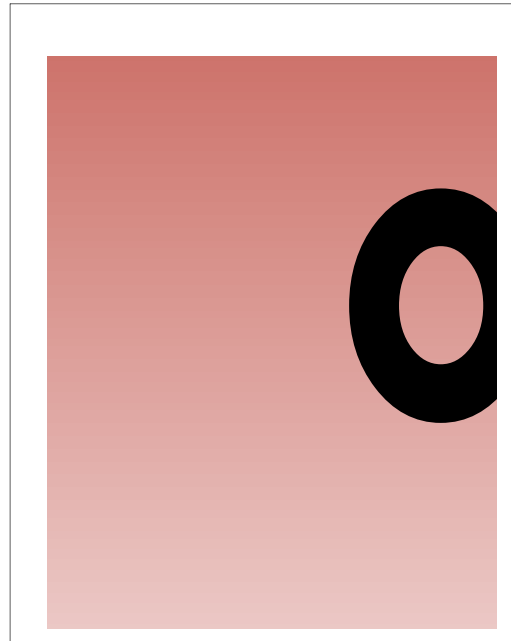
은  $w_a : w_b : w_c = 0.193 : 0.292 : 0.515$ 의 차이를 나타낸다. 이는 AIJ 방식에 대하여 AIP 방식의 상대오차를 구하면  $w_a, w_b, w_c$ 는 각각 -12.52%, 5.85%, 1.36%다. 두 가지 방법의 값이 다르도 문제이나 더 큰 문제는 어느 값이 설문응답자가 생각하는 값과 같은지 알 수 없다는 점이다.

이러한 문제는 AHP에서의 상대적 가중치를 산정하기 위해 적용되는 쌍대비교에 있어서 척도의 간격을 비율로 적용함으로써 간격이 동일하지 않다는 것에서 발생한다는 점이다. 위의 <그림 2> 및 <표 3>에서 보는 바와 같이, 현재의 AHP는 <표 2>의 척도 구간을 1/9~9로 기계적으로 배분한다. 일반적으로 다기준의사결정모형은 다수의 평가기준을 포함하기 때문에 평가기준이 많으면 많을수록 각각의 쌍대비교에서 발생한 차이가 누적되며, 두 방식의 차이를 더욱 크게 한다.

### III. 수정 비율을 이용한 쌍대비교의 척도구간-가중치 관계 개발

공식적인 전문가 집단 의사결정문제에 있어서 평가항목별 쌍대비교에 대한 설문을 할 때 최대한 집단을 대표하는 전문가가 인지하고 있는 정확한 가중치를 도출하는 것이 무엇보다 중요하다. 본 논문에서는 AIJ와 AIP 방식을 비교하기 위해 앞서, 기존의 AHP의 방법으로 도출된 가중치와 설문응답자가 실제적으로 인지하는 가중치를 비교하였다. 왜냐하면 평가항목이 단 둘일 경우에는 “어느 쪽이 더 중요한지(서수적 가중치)”만 알면 되나, 셋 이상이 되면 “어느 쪽이 얼마나 더 중요한지(기수적 가중치)”를 알아야 하기 때문이다. 이는 AHP의 가장 근본적인 문제점이기도 하다. 이를 위해 가중치 산정 시 기본이 되는 쌍대비교에서 척도구간별로 설문응답자가 인지하는 값을 직접점수응답방식과 직접쌍대비교방식을 통해 묻고,

그림 3\_수정비율의 개발절차



이를 AHP에 의한 가중치 산정방법과 비교하였다. <그림 3>은 본 논문의 연구절차를 나타낸다.

#### 1. 쌍대비교 설문과 척도구간-가중치의 관계 분석

설문응답자가 인지하는 가중치를 가장 정확하고 직접적으로 표현할 수 있는 방법은 직접점수응답법이다. 그림에도 불구하고, 가중치 산정방법에서 직접점수응답법을 사용하지 않는 것은 설문응답자가 설문내용에 대하여 심사숙고해서 설문에 응하였는지를 파악할 방법이 없기 때문이다. 따라서 본 논문에서는 기존의 쌍대비교, 직접점수응답법, 직접쌍대비교법의 결과를 비교하였고 세 가지 방법 모두 일관성 없는 자료를 제외하여 분석하고자 하였다. 쌍대비교 설문문항의 9점 척도에서 구간별 어의에 대한 설문응답자의 숫자 할당에 대한 분석을 위해 2010년 6월(설문-1)과 2010년 9월(설문-2)에 두 차례의 설문을 실시하였다. 특정한 가치관을 포함한 말을

표 5\_ 설문방식-쌍대비교법, 직접점수응답법, 직접쌍대비교법

구분	설문 형식																		
AHP (비율척도)	질문-1. A와 B 간의 상대적 중요도를 묻는 질문입니다.																		
	평가 항목	극히 중요		매우 중요		중요		약간 중요		같은		약간 중요		중요		매우 중요	극히 중요	평가 항목	
	A	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	B
직접점수응답법	질문-2. A와 B 간의 상대적 중요도가 어느 정도라고 생각하십니까? (합이 100점) A : B = ____ : ____																		
직접쌍대비교법	질문-3. A와 B 간의 상대적 중요도가 어느 정도라고 생각하십니까? A : B = 100 : ____																		

‘스테레오타입(stereotype)의 말’이라고 하는데, 설문지에 스테레오타입 말이 포함되면 응답자는 그에 영향을 받을 위험성이 발생한다. 또한 한 개인으로부터 척도와 가중치의 관계를 한꺼번에 묻게 되면 설문에 대한 충성도가 떨어지므로 간단하게 응답하기 위해 일률적으로 가중치를 배분할 위험성이 높다. 따라서 본 논문의 설문내용은 <그림 4>와 같이 일반적인 사항이고, 설문응답자의 집중도를 높이기 위해 이성을 판단할 경우를 판단기준으로 하여 평가항목에 대한 가중치를 부여하도록 하였으며, 성격과 외모로 평가기준이 2개인 경우와 평가기준이 3개인 외모 평가기준의 하위항목 얼굴, 키, 균형으로 구성하였다.

설문-1은 총 214명의 응답자를 대상으로 분석하였다. 설문의 질문형식은 쌍대비교 질문과 직접점수

응답법으로 수행하였다. 설문-2의 응답자는 총 134명이었다. 직접점수응답법에 대한 정확도와 응답자의 설문에 대한 진실성을 검토하기 위해 직접점수응답법과 더불어 쌍대비교에서 A 항목을 100로 했을 때 이에 대한 B 항목의 상대적 중요도를 직접 비교하는 직접쌍대비교법으로 설문을 수행하였다. 현재 KDI의 예비타당성조사 수행 시 평가항목에 대한 가중치 산정을 위해 기존 AHP와 더불어 직접쌍대비교법을 사용 중이며, <표 5>는 실제 수행한 설문방식이다.

기존 AHP의 가중치 산정결과가 문제점을 가지는지를 증명하기 위해서는 새로운 방법을 개발하는 근거가 되는 자료를 확보하는 것이 필요하다. 이를 위해, 본 논문은 직접점수응답법에 의한 결과를 척도 구간-가중치의 관계에 대한 참값으로 간주하고, 이에 대한 통계분석을 하였다. SPSS(Statistical Package for the Social Sciences)를 이용하여 척도구간과 직접점수응답법에 의한 가중치의 상관계수를 Pearson, Kendall의  $\tau-b$ , Spearman으로 산정한 결과, 각각 0.9475, 0.8431, 0.9351를 나타내었다. 또한 회귀식의 통계적 유의성을 검정한 결과, t값 53.692의 확률표시인 유의확률이 0.00으로 상당히 강한 양의 상관관계를 가지며, 회귀식은 의미가 있는 것으로 분석되었다. 또한 회귀식의 유효성을 나타내

그림 4\_ 평가기준 계층구조

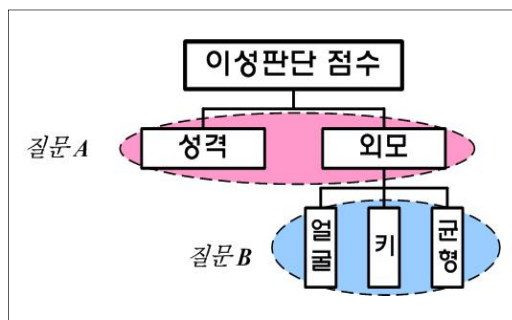
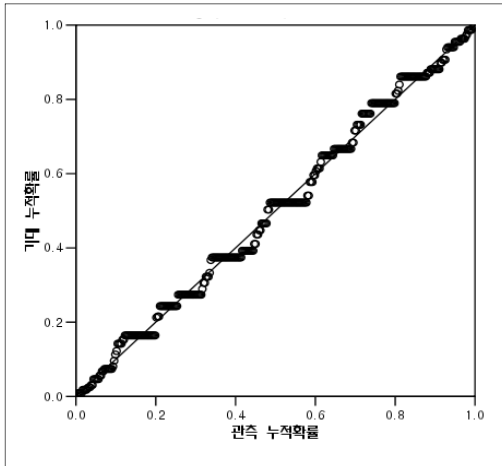


그림 5\_ 직접점수응답법의 회귀표준화잔차의 정규 P-P 도표



는 기여율인 결정계수는 0.8978로 산정되었으며, 이는 조사된 직접점수응답법의 결과들 중에서 89.87%는 척도구간의 변동으로 설명이 가능함을 의미한다. 회귀식의 유효성을 평가하는 또 하나의

지표인 추정값의 표준오차는 0.0561로 산정되었다. <그림 5>의 직접점수응답법에 대한 회귀표준화잔차의 정규 P-P 도표를 통해 척도구간-직접응답의 직선관계의 타당성을 확인할 수 있었다.

<표 6>은 설문-1과 설문-2를 합성하여 분석한 척도구간별 통계량이다. <그림 6-a>는 설문-1에 의한 직접응답법의 척도구간-가중치 관계, <그림 6b>는 설문-2에 의한 직접응답법의 척도구간-가중치 관계, <그림 6-c>는 설문-2에 의한 직접쌍대비교법의 척도구간-가중치 관계다. 세 가지의 결과 모두 척도구간-가중치의 관계가 기존의 AHP와 달리 척도구간을 등간격으로 인지함을 알 수 있다. <그림 6d>는 직접점수응답법의 타당성을 확보하기 위해 직접쌍대비교법과 비교한 그래프다. 기울기는 0.99332이고  $R^2$  은 0.85753이다. <그림 6b-d>에서 보는 바와 같이 설문응답자는 척도의 간격을 AHP와 같이 비율로 인지하지 않고 직접점수응답법과 직

표 6\_ 척도구간별 설문응답 통계

구분	AHP(비율척도)		응답빈도	A항목의 척도구간별 가중치(직접점수응답법)						
	A : B	A의 가중치		평균	표준편차	최소값	1분위수	중위수	3분위수	최대값
극히 덜 중요	1/9 : 1	0.100	9	0.117	0.0354	0.100	0.100	0.100	0.100	0.200
	1/8 : 1	0.111	0							
매우 덜 중요	1/7 : 1	0.125	15	0.240	0.0712	0.100	0.200	0.300	0.300	0.300
	1/6 : 1	0.143	9	0.372	0.0507	0.300	0.350	0.400	0.400	0.450
덜 중요	1/5 : 1	0.167	46	0.361	0.0524	0.250	0.300	0.375	0.400	0.450
	1/4 : 1	0.200	15	0.393	0.0372	0.300	0.400	0.400	0.400	0.450
약간 덜 중요	1/3 : 1	0.250	33	0.392	0.0395	0.300	0.400	0.400	0.400	0.470
	1/2 : 1	0.333	4	0.425	0.0289	0.400	0.400	0.425	0.450	0.450
같음	1 : 1	0.500	31	0.500	0.0000	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
	2 : 1	0.667	5	0.580	0.0274	0.550	0.550	0.600	0.600	0.600
약간 중요	3 : 1	0.750	24	0.613	0.0423	0.550	0.600	0.600	0.613	0.700
	4 : 1	0.800	16	0.616	0.0352	0.550	0.600	0.600	0.650	0.700
중요	5 : 1	0.833	61	0.652	0.0591	0.550	0.600	0.650	0.700	0.800
	6 : 1	0.857	12	0.660	0.0669	0.600	0.600	0.650	0.700	0.800
매우 중요	7 : 1	0.875	37	0.712	0.0594	0.600	0.700	0.700	0.750	0.800
	8 : 1	0.889	4	0.800	0.0816	0.700	0.775	0.800	0.825	0.900
극히 중요	9 : 1	0.900	9	0.856	0.0726	0.700	0.800	0.900	0.900	0.900

그림 6\_ 척도구간-가중치 관계식과 직접쌍대비교법-직접점수응답법 비교

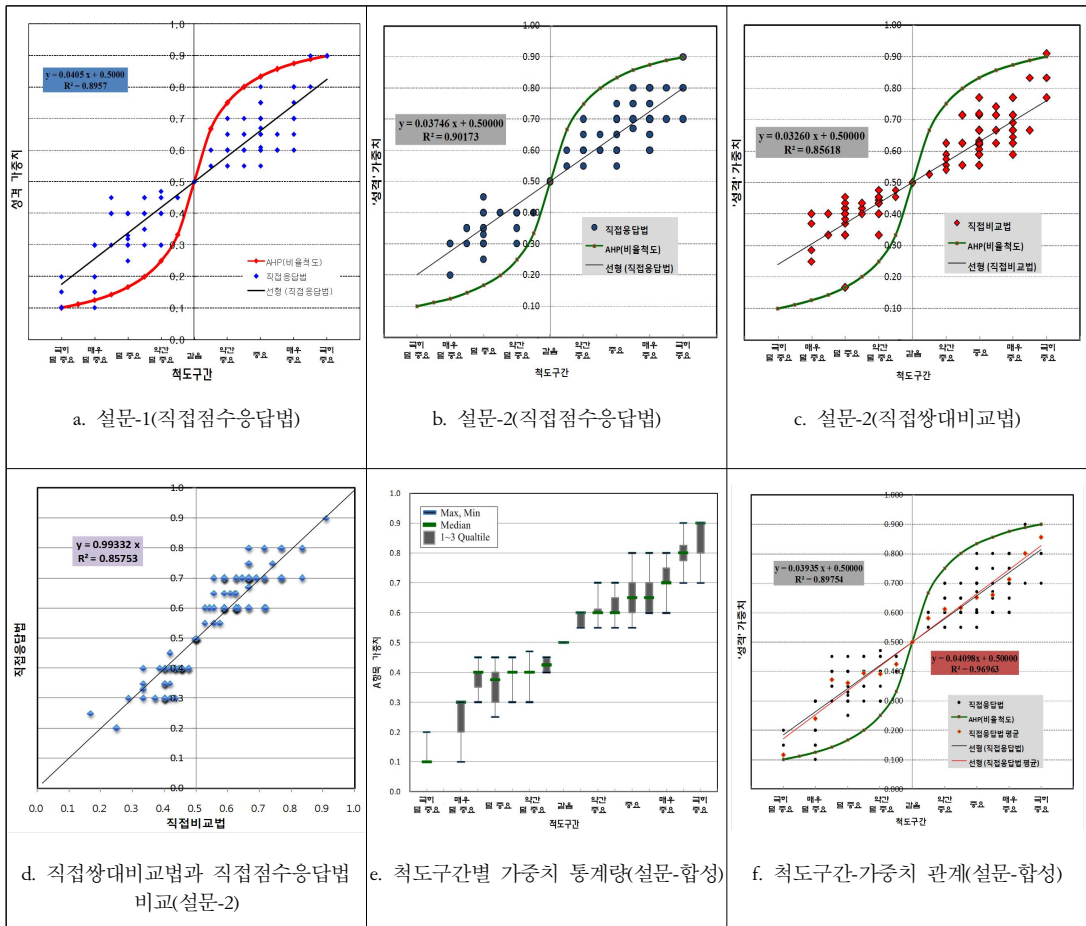
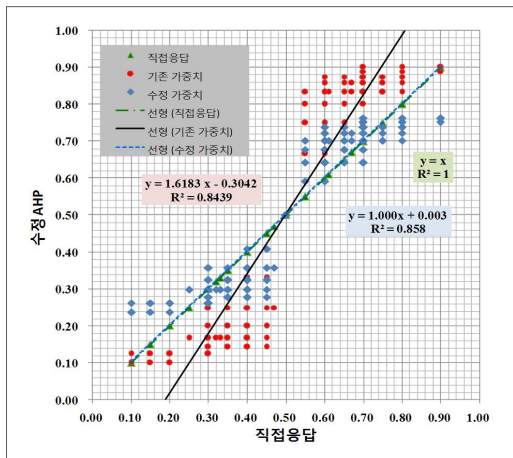


그림 7\_ 기준 비율과 수정 비율의 척도-가중치 관계식



직접쌍대비교법과 같이 척도구간을 동일하게 인식하고 있음을 알 수 있다. <그림 6-c>는 설문-1과 설문-2를 합성하여 분석한 직접점수응답법의 척도구간별 가중치 통계량, <그림 6-f>는 설문-1, 2 (직접 점수응답법)를 그대로 분포된 상태에서 구한 척도구간-가중치 관계와 각 척도별 평균에 대한 척도구간-가중치 관계를 나타내고 있다.

## 2. 척도구간의 수정 비율 도출

앞서 지적된 기존 방법의 문제점을 해결하기 위해 기존의 척도 구간별 비율을 수정하였다. 이를 위해,

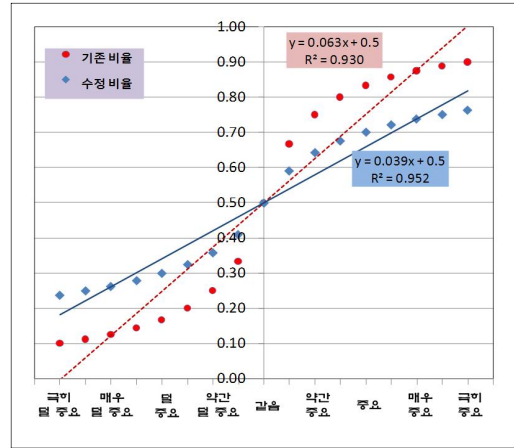
표 7\_수정 전·후의 쌍대비교 비율과 가중치

구분	수정 전			수정 후		
	A : B	A의 가중치	가중치 간격	A : B	A의 가중치	가중치 간격
극히 덜 중요	1/9 : 1	0.100		23/74 : 1	0.237	
	1/8 : 1	0.111	0.011	1/3 : 1	0.249	0.012
매우 덜 중요	1/7 : 1	0.125	0.014	27/76 : 1	0.262	0.014
	1/6 : 1	0.143	0.018	32/83 : 1	0.278	0.016
덜 중요	1/5 : 1	0.167	0.024	31/73 : 1	0.298	0.020
	1/4 : 1	0.200	0.033	11/23 : 1	0.324	0.025
약간 덜 중요	1/3 : 1	0.250	0.050	34/61 : 1	0.358	0.034
	1/2 : 1	0.333	0.083	9/13 : 1	0.409	0.051
같음	1 : 1	0.500	0.167	1 : 1	0.500	0.091
	2 : 1	0.667	0.167	1 33/74 : 1	0.591	0.091
약간 중요	3 : 1	0.750	0.083	1 27/34 : 1	0.642	0.051
	4 : 1	0.800	0.050	2 1/11 : 1	0.676	0.034
중요	5 : 1	0.833	0.033	2 17/48 : 1	0.702	0.025
	6 : 1	0.857	0.024	2 19/32 : 1	0.722	0.020
매우 중요	7 : 1	0.875	0.018	2 31/38 : 1	0.738	0.016
	8 : 1	0.889	0.014	3 2/87 : 1	0.751	0.014
극히 중요	9 : 1	0.900	0.011	3 7/32 : 1	0.763	0.012

앞 절에서 분석된 직접점수응답법의 설문결과를 참값으로 하고, 쌍대비교 척도구간별 비율을 수정하여 참값에 가장 가까운 비율을 도출하였다. 즉, 직접점수응답법의 추세선 기울기와 수정된 비율척도의 기울기가 같아지도록 척도구간별 값을 조정하였다. <그림 7>은 기존의 척도구간별 1/9~9의 값을 수정하기 전의 가중치와 수정된 후의 가중치며, 직접점수응답법에 의한 결과를 참값으로 하였기 때문에 기존의 비율에 0.532 제곱하여 추세선의 기울기가 1이 되도록 하여 쌍대비교의 비교항목 간 비율을 수정하였다.

<표 7>은 수정 전후의 쌍대비교 비율과 그에 따른 가중치이며, <그림 8>은 각각의 비율에 의한 가중치를 그래프로 나타낸 것이다. 이러한 과정을 통해 쌍대비교 설문결과를 설문응답자가 인지하는 가중치에 가깝도록 유도하고, 가중치 취합방식에 따라

그림 8\_수정 전·후의 척도구간-가중치 관계



발생하는 차이를 줄이고자 하였다.

### 3. 기존 비율과 수정 비율의 가중치 비교

다수의 비교항목에 의해 직접점수응답법으로 상대적 중요도를 묻게 되면, 설문응답자는 항목별로 균등하게 중요도를 분산시키려는 경향이 있으나, 단순히 2개의 비교항목에 대해서는 설문응답자가 생각하는 바를 그대로 제시하였다고 간주할 수 있다. <표 8>은 설문-1, 2를 합성하여 이를 대상으로 직접점수응답법, 기존 비율, 수정 비율에 의해 산정된 각각의 가중치에 대하여 직접점수응답법의 결과를 참값으로 하고, 각각의 방법에 대한 상대오차를 산정한 결과다. <표 8>에서 알 수 있듯이, 기존 AHP

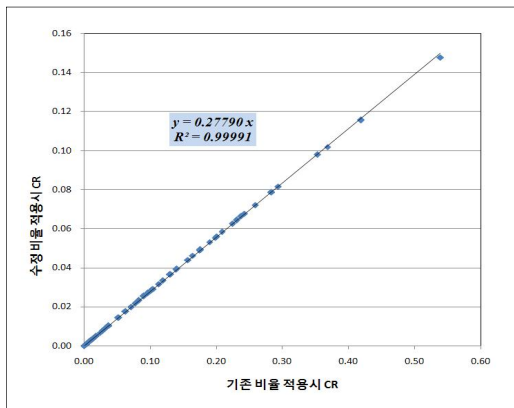
표 8\_가중치 산정방법별 가중치 비교와 상대적 오차

구분		기존 비율		수정 비율	
		성격	외모	성격	외모
직접점수응답법 (참값)		0.523	0.477	0.523	0.477
AIJ 방식	가중치	0.555	0.445	0.529	0.471
	상대오차	6.04%	-6.63%	1.14%	-1.26%
AIP 방식	가중치	0.543	0.457	0.527	0.473
	상대오차	3.70%	-4.06%	0.71%	-0.78%

표 9\_ 설문결과에 따른 가중치 비교

구분			일관성 분석 전(312명)			일관성 분석 후(279명)		
			가중치 X	가중치 Y	가중치 Z	가중치 X	가중치 Y	가중치 Z
직접접수응답법(참값)			0.401	0.236	0.363	0.397	0.244	0.359
기존 비율	AIJ	가중치	0.436	0.168	0.396	0.430	0.177	0.393
		상대오차	8.60%	-28.58%	9.05%	8.44%	-27.63%	9.48%
	AIP	가중치	0.425	0.188	0.386	0.424	0.195	0.381
		상대오차	5.93%	-20.10%	6.50%	7.01%	-20.33%	6.10%
수정 비율	AIJ	가중치	0.392	0.237	0.370	0.388	0.242	0.370
		상대오차	-2.21%	0.57%	2.08%	-2.17%	-1.02%	3.09%
	AIP	가중치	0.389	0.241	0.370	0.388	0.246	0.367
		상대오차	-3.01%	2.12%	1.96%	-2.33%	0.59%	2.17%

그림 9\_ 기존 비율과 수정 비율의 CR 관계



의 비율로 산정한 AIJ 방식과 AIP 방식의 결과에 차이가 있음을 알 수 있다. 그에 반해 수정 비율에 의한 값에서는 AIJ 방식과 AIP 방식의 결과가 동일하였으며, 그 이유는 척도구간별 가중치의 차이가 기존 비율에 비해 수정 비율이 거의 등간격에 가깝기 때문이다.

3개 이상의 경우에도 기존 비율을 적용한 가중치보다 수정 비율이 더 정확한지와 AIJ 방식과 AIP 방식을 비교하기 위해 <그림 4>의 외모의 하위 항목인 얼굴, 키, 균형을 대상으로 설문한 값을 이용하여 분석하였으며, 일관성 검정 후의 자료는 일관성 비

율 0.2 이하를 대상으로 하였다. <표 9>는 설문결과에 따른 가중치를 비교한 값으로, 실측값과 비교 분석한 결과를 통해서 알 수 있듯이, 쌍대비교의 척도구간에 대한 비율을 조정함으로써 상대오차를 크게 줄일 수 있고, AIJ 방식이 AIP 방식에 비해서 가중치의 오차가 크게 나타남을 알 수 있다. AHP에서는 일관성 검정 과정이 매우 중요하며, 일반적으로 CR값이 0.1~0.2 이하인 값을 대상으로 분석한다. 본 연구에서는 수정 비율을 적용할 때의 CR값 기준을 설정하기 위해 <그림 9>와 같이 기존 비율로 산정된 CR값과 수정 비율로 산정된 CR값의 관계를 분석하였다. 그 결과 기존 비율에 의한 CR값 0.1, 0.15, 0.2는 각각 수정 비율에 의한 CR값 0.0278, 0.0417, 0.0556에 해당된다.

#### IV. 수정 비율척도를 이용한 AHP의 적용성 검토

수정 비율을 도출하기 위해 수행한 설문은 일반적인 내용을 대상으로 하였기 때문에 전문적인 분야에서도 적용성이 가능한지에 대하여 검토하였다. 이를 위해 수자원사업의 대안선정과 투자우선순위결정을

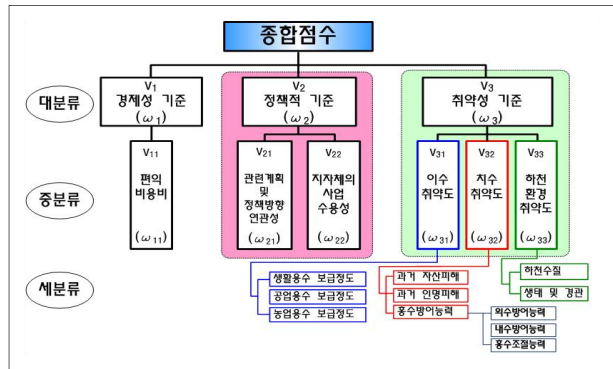
위한 다기준의사결정모형 개발 과정에서 평가기준별 가중치 산정을 위해 본 논문에서 개발된 수정 비율척도를 적용하였다.

### 1. 수정 비율을 이용한 가중치 산정

<그림 10>은 평가기준의 계층구조다. 설문대상자는 총 80명의 인하대학교 사회기반시스템공학부 토목공학 전공 3, 4학년, 수자원 관련 대학원생, 설계회사 전문가 등으로, 설문내용의 수준을 고려하여 직접면접설문을 실시하였고, 설문문항과 방법에 대하여 충분히 설명하였다. 설문방식은 쌍대비교와 직접점수응답법으로 하였다.

본 절에서는 평가기준이 2개인 ‘관련계획 및 정책방향 연관성(A): 지자체의 사업수용성(B)’과 ‘하천수질(A): 생태 및 경관(B)’를 대상으로 척도구간-가중치 관계를 분석하였다. <표 10>은 기존 비율과 수정 비율을 적용한 가중치와 상대오차이다. 직접점수응답법의 결과를 참값으로 하고, 각각의 방법에 대하여 오차를 산정한 결과에서 알 수 있듯이 수정

그림 10\_ 수자원사업 의사결정을 위한 평가기준 구성



비율을 적용한 결과는 직접점수응답법과 거의 차이가 없고, AIP 방식이 AIJ 방식보다 오차가 적음을 알 수 있다.

<표 11>은 평가항목이 3개인 경우로, 일관성 검정 전과 일관성 비율 CR이 0.2 이하인 자료를 이용한 일관성 검정 후의 자료를 대상으로 산정한 가중치와 상대오차다. 평가기준이 3개 이상일 경우에도 기존 AHP의 비율보다 수정 비율을 적용했을 때의 상대오차가 훨씬 적다. 또한 큰 차이는 아니나 AIJ 방식에 비해 AIP 방식이 상대오차가 적게 산정되었으며, 이를 통해 기존의 비율보다 수정 비율을 적용하는 것이 설문응답자가 인지하는 가중치를 더욱 잘

표 10\_ 가중치 산정방법별 가중치 비교와 상대적 오차

구분		기존 비율		수정 비율		
		A	B	A	B	
관련 계획-정책방향 연관성 : 지자체 사업수용성	직접점수응답법(참값)	0.548	0.452	0.548	0.452	
	AIJ 방식	가중치	0.621	0.379	0.566	0.434
		상대오차	13.38%	-16.23%	3.18%	-3.86%
	AIP 방식	가중치	0.606	0.394	0.563	0.437
상대오차		10.62%	-12.88%	2.68%	-3.25%	
하천수질: 생태-경관	직접점수응답법(참값)	0.589	0.411	0.589	0.411	
	AIJ 방식	가중치	0.715	0.285	0.620	0.380
		상대오차	21.36%	-30.66%	5.22%	-7.49%
	AIP 방식	가중치	0.690	0.310	0.615	0.385
상대오차		17.09%	-24.52%	4.40%	-6.31%	

표 11\_ 설문결과에 따른 가중치 비교

구분			일관성 분석 전			일관성 분석 후				
			가중치 X	가중치 Y	가중치 Z	가중치 X	가중치 Y	가중치 Z		
경제 : 정책 : 취약	직접점수응답법(참값)		0.319	0.243	0.438	0.315	0.246	0.439		
	기존 비율	AIJ	가중치	0.272	0.144	0.584	0.266	0.148	0.586	
			상대오차	-14.64%	-40.82%	33.31%	-15.60%	-39.60%	33.35%	
	AIP	AIJ	가중치	0.290	0.155	0.555	0.283	0.161	0.556	
			상대오차	-9.06%	-36.20%	26.68%	-10.11%	-34.45%	26.53%	
	수정 비율	AIJ	AIJ	가중치	0.311	0.222	0.467	0.307	0.225	0.468
				상대오차	-2.40%	-8.81%	6.64%	-2.52%	-8.32%	6.46%
		AIP	AIJ	가중치	0.315	0.223	0.461	0.311	0.227	0.461
				상대오차	-1.14%	-8.15%	5.35%	-1.27%	-7.44%	5.08%
	이수 : 치수 : 환경	직접점수응답법(참값)		0.318	0.400	0.282	0.317	0.396	0.287	
기존 비율		AIJ	가중치	0.282	0.501	0.216	0.288	0.490	0.222	
			상대오차	-11.10%	25.30%	-23.39%	-9.16%	23.70%	-22.61%	
		AIP	AIJ	가중치	0.285	0.481	0.234	0.288	0.472	0.240
				상대오차	-10.40%	20.29%	-17.08%	-9.17%	19.15%	-16.31%
수정 비율		AIJ	AIJ	가중치	0.310	0.421	0.269	0.313	0.415	0.272
				상대오차	-2.38%	5.17%	-4.65%	-1.33%	4.74%	-5.08%
		AIP	AIJ	가중치	0.309	0.418	0.273	0.311	0.413	0.276
				상대오차	-2.73%	4.51%	-3.32%	-1.85%	4.17%	-3.71%
생활 : 공업 : 농업		직접점수응답법(참값)		0.455	0.283	0.262	0.450	0.282	0.267	
	기존 비율	AIJ	가중치	0.626	0.188	0.186	0.626	0.186	0.188	
			상대오차	37.57%	-33.53%	-29.08%	38.93%	-34.11%	-29.53%	
		AIP	AIJ	가중치	0.603	0.194	0.202	0.604	0.193	0.202
				상대오차	32.56%	-31.39%	-22.68%	34.26%	-31.55%	-24.37%
	수정 비율	AIJ	AIJ	가중치	0.488	0.257	0.255	0.487	0.256	0.257
				상대오차	7.11	-9.16	-2.45	8.20%	-9.49%	-3.78%
		AIP	AIJ	가중치	0.483	0.258	0.259	0.483	0.257	0.260
				상대오차	6.04%	-8.92%	-0.85%	7.24%	-9.09%	-2.59%
	자산 : 인명 : 방어	직접점수응답법(참값)		0.244	0.412	0.344	0.257	0.419	0.324	
기존 비율		AIJ	가중치	0.165	0.497	0.338	0.175	0.523	0.302	
			상대오차	-32.31%	20.74%	-1.89%	-32.07%	24.84%	-6.66%	
		AIP	AIJ	가중치	0.170	0.478	0.352	0.182	0.499	0.319
				상대오차	-30.39%	16.17%	2.22%	-29.25%	19.06%	-1.42%
수정 비율		AIJ	AIJ	가중치	0.235	0.422	0.343	0.242	0.434	0.324
				상대오차	-3.84%	2.46%	-0.22%	-5.86%	3.55%	0.06%
		AIP	AIJ	가중치	0.234	0.419	0.347	0.242	0.430	0.328
				상대오차	-4.22%	1.74%	0.91%	-5.84%	2.57%	1.32%

반영하고 있음을 알 수 있다.

2. 유역종합치수계획 대안선정에 적용

‘○○○수계 유역종합치수계획 수립’의 대안선정 과정에 다기준의사결정모형을 적용하였다. 유역종합치수계획의 최종 목적은 해당 유역 내에서 설정된 홍수조절목표를 이루기 위해 가장 적절한 대안을 찾는 것이다. 당 계획에서의 대안선정은 동일 유역 내에서 홍수조절이라는 동일한 목적을 가지며, 대안의 요소인 개별 사업(시설)은 서로 종속적인 관계를 가

진다. 이를 고려한 대안선정에 적용되는 평가기준은 <그림 11>과 같이 경제성 분석, 정책적 분석의 관련 계획 및 정책방향 연관성, 취약성 분석의 치수취약도로 재구성하였다. 정책적 분석의 하위항목인 지자체 사업수용성은 동일 지역을 대상으로 하기 때문에 모든 대안에서 동일하며, 취약성 분석의 하위 항목인 치수취약도와 하천환경취약도는 유역종합치수계획의 목적과 관련이 없기 때문에 제외하였다.

기 수립된 기본계획에서는 본 연구에서 선정된 평가기준과 관련한 분석/조사가 모두 이루어져 있지 않기 때문에, 의사결정모형을 적용하기 위해 실제 수립된 기본계획과 예비타당성조사 사업의 자료를 기본으로 하였으며, 일부 자료는 가정치를 적용하였다. 정책적 기준의 하위항목인 관련계획 및 정책방향 연관성과 지자체사업선택도를 제외한 나머지는

그림 11\_ 유역종합치수계획 대안선정 시 평가기준

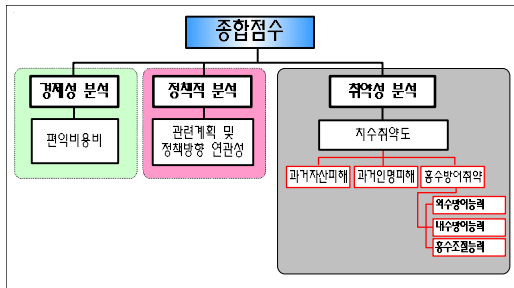


그림 12\_ 모형적용 절차

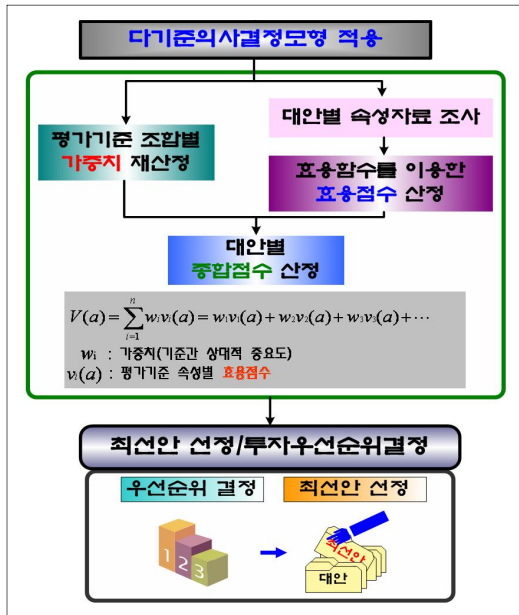


표 12\_ 다기준의사결정모형에 적용될 평가기준별 효용함수

구분	효용함수	
경제성 기준	$U(x) = \frac{100}{2.769498} \left( \frac{1 - e^{-0.357658x}}{1 - e^{-0.357658}} \right)$	
정책적 기준 관련계획 및 정책방향 연관성	$U(x) = x$	
취약성 기준	$U(x) = x$	
취약성 기준 치수취약도	$U(x) = \frac{100}{28.278748} \left( \frac{1 - e^{-0.034883x}}{1 - e^{-0.034883}} \right)$	
치수 취약도	과거 자산피해	$U(x) = \frac{100}{5,700} x$
	과거 인명피해	$U(x) = \frac{100}{40} x$
	홍수방어 취약	$U(x) = x$
홍수방어 취약	외수방어 능력	$U(x) = -\frac{100}{70} x + \frac{10,000}{70}$
	내수방어 능력	$U(x) = 100 - \frac{100}{85,000} x$
	홍수조절 능력	$U(x) = 100 - \frac{100}{90} x$

사업대상지역의 속성값에 대한 실제 사군구의 자료를 이용하였음을 밝힌다. <그림 12>는 수자원사업의 대안선정 및 투자우선순위 결정을 위한 다기준의 사결정모형을 적용하는 절차를 나타내고 있다. <표

12>는 다기준의사결정모형을 위해 도출된 평가기준별 효용함수다. 과업범위는 수계 내 100개 하천 600km(국가하천 4개소: 100km, 지방 2급하천: 500km)를 대상으로 한다. 시설물의 조합인 대안은

표 13\_ 대안별 속성값

평가기준	속성	속성값				
		대안-1	대안-2	대안-3	대안-4	대안-5
경제성 분석	B/C	1.181	1.333	1.316	1.299	1.247
관련 계획 및 정책방향 연관성	관련 계획 및 정책방향 연관성 점수	87.0	90.0	93.0	85.0	85.0
과거 자산피해	1인당 홍수피해액 (천 원/인)	2763.2	2984.3	3136.8	2994.7	3221.5
과거 인명피해	10만명당 인명피해수 (인/10만 명)	25.3	22.01	23.41	24.11	19.62
외수방어능력	하천개수율 (%)	70	90	85	95	75
내수방어능력	단위면적당유수지용량 (m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> )	20,000	34,000	40,000	38,000	33,000
홍수조절능력	단위면적당 홍수조절량 (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> )	20	40	35	30	25

표 14\_ 유역종합치수계획 대안선정을 위한 다기준의사결정모형 적용 결과 - 직접점수응답법(참값)

구분		속성/효용점수							
		대안-1	대안-2	대안-3	대안-4	대안-5			
속성점수/ 효용점수 (가중치)	경제성 분석	경제성 분석	41.37	45.54	44.81	44.62	43.21		
		정책적 분석	관련계획 및 정책방향 연관성	87.00	90.00	93.00	85.00	85.00	
	취약성 분석	과거 자산피해 속성점수(0.257)	과거 자산피해 속성점수(0.257)	48.48	52.36	55.03	52.54	56.52	
			과거 인명피해 속성점수(0.419)	63.25	55.03	58.53	60.28	49.05	
		외수방어(1/3)	외수방어(1/3)	42.86	14.29	21.43	7.14	35.71	
			내수방어(1/3)	내수방어(1/3)	76.47	60.00	52.94	55.29	61.18
				홍수조절(1/3)	77.78	55.56	61.11	66.67	72.22
		속성/효용점수	65.70	43.28	45.16	43.03	56.37		
	치수취약도 속성/효용점수	60.25/90.54	50.53/85.45	53.30/87.08	52.70/86.74	53.34/87.11			
	취약성 분석 속성/효용점수	90.54	85.45	87.08	86.74	87.11			
가중치 적용 기준별 점수	경제성 분석(0.315)	13.03	14.34	14.12	14.06	13.61			
	정책적 분석(0.246)	21.40	22.14	22.88	20.91	20.91			
	취약성 분석(0.439)	39.75	37.51	38.23	38.08	38.24			
종합점수(합계)		74.18	74.00	75.22	73.05	72.76			
우선순위		2	3	1	4	5			

표 15\_ 유역종합치수계획 대안선정을 위한 다기준의사결정모형 적용 결과 -기존 비율(AIJ 방식)

구분			속성/효용점수						
			대안-1	대안-2	대안-3	대안-4	대안-5		
속성점수/ 효용점수 (가중치)	경제성 분석		41.37	45.54	44.81	44.62	43.21		
	정책적 분석	관련계획 및 정책방향 연관성	87.00	90.00	93.00	85.00	85.00		
			취약성 분석	치수 취약도	과거 자산피해 속성점수(0.175)	48.48	52.36	55.03	52.54
	과거 인명피해 속성점수(0.523)	63.25			55.03	58.53	60.28	49.05	
	홍수방어 취약 (0.302)	외수방어(1/3)			42.86	14.29	21.43	7.14	35.71
		내수방어(1/3)			76.47	60.00	52.94	55.29	61.18
		홍수조절(1/3)			77.78	55.56	61.11	66.67	72.22
		속성/효용점수			65.70	43.28	45.16	43.03	56.37
	치수취약도 속성/효용점수				61.41/91.04	51.01/85.75	53.88/87.40	53.71/87.31	52.57/86.67
	취약성 분석 속성/효용점수		91.04	85.75	87.40	87.31	86.67		
가중치 적용 기준별 점수	경제성 분석(0.266)		11.00	12.11	11.92	11.87	11.49		
	정책적 분석(0.148)		12.88	13.32	13.76	12.58	12.58		
	취약성 분석(0.586)		53.35	50.25	51.22	51.17	50.79		
종합점수(합계)			77.23	75.68	76.90	75.62	74.86		
우선순위			1	3	2	4	5		

표 16\_ 유역종합치수계획 대안선정을 위한 다기준의사결정모형 적용 결과 -수정 비율(AIP 방식)

구분			속성/효용점수						
			대안-1	대안-2	대안-3	대안-4	대안-5		
속성점수/ 효용점수 (가중치)	경제성 분석		41.37	45.54	44.81	44.62	43.21		
	정책적 분석	관련계획 및 정책방향 연관성	87.00	90.00	93.00	85.00	85.00		
			취약성 분석	치수 취약도	과거 자산피해 속성점수(0.242)	48.48	52.36	55.03	52.54
	과거 인명피해 속성점수(0.430)	63.25			55.03	58.53	60.28	49.05	
	홍수방어 취약 (0.328)	외수방어(1/3)			42.86	14.29	21.43	7.14	35.71
		내수방어(1/3)			76.47	60.00	52.94	55.29	61.18
		홍수조절(1/3)			77.78	55.56	61.11	66.67	72.22
		속성/효용점수			65.70	43.28	45.16	43.03	56.37
	치수취약도 속성/효용점수				60.48/90.64	50.53/85.45	53.30/87.08	52.75/86.77	53.26/87.06
	취약성 분석 속성/효용점수		90.64	85.45	87.08	86.77	87.06		
가중치 적용 기준별 점수	경제성 분석(0.311)		12.87	14.16	13.94	13.88	13.44		
	정책적 분석(0.227)		19.75	20.43	21.11	19.30	19.30		
	취약성 분석(0.461)		41.79	39.39	40.14	40.00	40.13		
종합점수(합계)			74.40	73.98	75.19	73.17	72.87		
우선순위			2	3	1	4	5		

총 5개이며, 다기준의사결정모형에 적용되는 평가기준별 속성은 <표 13>과 같다.

유역종합치수계획의 대안선정에서 치수취약도는 수자원취약 분석점수기 때문에 이를 적용하여 최종적으로 경제성 분석 점수, 정책적 분석 점수에 가중치를 고려하여 최종 종합점수를 산정하였다. <표 14~16>은 일관성 검증 후의 직접점수응답법, 기존 AHP-AIJ 방식, 수정 AHP-AIP 방식으로 산정한 가중치를 다기준의사결정모형에 적용하여 대안별로 산정한 종합점수와 순위다. 직접점수응답법과 수정 비율을 적용한 방법의 최종 순위는 대안 1~5 모두 동일하게 도출되었으나, 기존 비율을 적용한 경우에는 순위가 바뀔 수 있다. 이를 통해, 가중치가 최종 의사결정에 영향을 미치는 것을 알 수 있으므로, 가중치 산정 시 주의를 기울여야 할 것으로 판단된다.

## V. 결론

적지 선정, 기업 선정, 노선 선정, 성과 평가, 요인 분석, 지표 개발, 우선순위 결정, 비교 평가 등을 목적으로 하는 의사결정은 매우 다양한 요소들이 복합적으로 얽혀 있으며, 그 결과에 따라 사회적으로 또는 국가적으로 미치는 영향이 크기 때문에 신중한 의사결정을 통해 최선의 결과를 도출해야 한다. 최선의 대안선정 과정에서 하나의 기준이 아닌 여러 기준이 고려되어야 하는 경우를 다기준의사결정이라 하며 다기준의사결정의 일반적인 절차는 의사결정 대상 파악, 평가기준 설정, 평가기준별 가중치 산정, 평가기준 항목별 점수 산정, 종합점수 산정의 과정을 거치게 된다. 즉, 선정된 평가기준별 가중치에 가치점수를 통한 대안의 점수를 적용함으로써 평가기준별 점수가 산정되고, 이들 점수를 합산하면 종합점수 또는 전체 점수가 산정된다. 종합점수 산정

과정에서 어떤 기준은 다른 기준에 비해 더 또는 덜 중요할 수 있으므로, 최선의 가중치를 산정하는 단계는 매우 중요하다. 이에 본 논문에서는 기존에 전 세계적으로 다양한 분야에서 널리 사용된 AHP의 가중치 산정방법의 문제점을 분석하고 이를 보완하는 방법을 제시하였다.

이를 위해 쌍대비교 설문문항의 구간척도에서 구간별로 설문응답자들이 어떠한 방식으로 숫자를 할당하는지에 대한 경향을 파악하고자 하였다. 그 결과, 대부분의 응답자는 척도별 구간을 동일한 것으로 인지하였으며, 기존의 비율을 적용한 AHP의 가중치는 실제 응답자가 인지하는 값과 차이가 발생함을 알 수 있었다. 이를 해결하기 위해 오차가 발생하는 원인인 척도 간 비율을 수정함으로써 오차를 줄일 수 있었다. 또한 적용 방식에 따라 가중치의 결과가 다르게 나타나는 AIJ와 AIP의 차이를 줄일 수 있었다. 현재 수백억에서 수천억 원의 사업비가 소요되는 수자원, 도로, 철도, 항만 등 공공사업의 투자 여부를 결정하는 예비타당성조사나 의학, 교육, 기업 전략 등 여러 분야에서 기존의 방법을 의심 없이 그대로 적용하는 실정이다. 가중치 간의 차이가 소수점일지라도 그 결과가 미치는 영향은 매우 클 수 있기 때문에 의사결정자는 기계적으로 AHP를 적용하기보다 충분한 검토를 거쳐서 가중치를 산정하면 좀 더 나은 의사결정에 근접할 수 있을 것으로 생각된다.

본 연구의 방법을 실제 의사결정판단에 적용할 경우, 방법론의 신뢰성이 확보되어야 한다. 본 연구에서 수정비율 도출의 근거가 되는 참값에 대한 논란을 해결하기 위해 향후 다양한 비교 실증연구들이 진행되어야 할 것으로 생각되며, 이를 위해서는 다기준의사결정분석을 수행하는 분석자의 관심이 필요하다.

참고문헌 •••••

이창효. 1999. 다기준의사결정론. 부산 : 세종출판사.  
한국개발연구원. 2003. 수자원(담)부문사업의 예비타당성조사 표  
준지침 연구. 제3판. 서울 : 한국개발연구원  
한국개발연구원. 2004. 예비타당성조사 수행을 위한 일반지침  
수정보완 연구. 서울 : 한국개발연구원  
한국수자원공사. 2002. 기존댐 합리적 용수배분을 위한 수리권  
조정 방안 연구. 대전 : 한국수자원공사  
Aczél, J. and Saaty, T.L. 1983. "Procedures for Synthesizing  
Ratio Judgments". *Journal of Mathematical Psychology*  
vol.27, no.1. pp93-102.  
Aczél, J. and Roberts, F.S. 1989. "On the Possible Merging  
Functions". *Mathematical Social Sciences* vol.17.  
pp205-243.  
Bryson, N. 1996. "Group Decision Making and the Analytic  
Hierarchy Process: Exploring the Consensus Relevant  
Information Content". *Computers and Operations Research*  
vol.23. pp27-35.  
Chou, M. T. 2007. "Synthesizing Comparison Matrices of AHP  
Under Group Decision". *Lecture Notes in Computer Science*  
vol.4693. pp1323-1330.  
Dodd, F. J., Donegan, H. A. and McMaster, T. B. M. 1995.  
"Scale Horizons in Analytic Hierarchies". *Journal of  
Multi-criteria Decision Analysis* vol.4, pp177-188.  
Forman, E. and Peniwati, K. 1998. "Aggregating Individual  
Judgments and Priorities with the Analytic Hierarchy  
Process". *European Journal of Operational Research* vol.108.  
pp165-169.  
Harker, P. T. and Vargas, L. G. 1987. "The Theory of Ratio  
Scale Estimation: Satty's Analytic Hierarchy Process".  
*Management Science* vol.33. pp1383-1403.  
Ishizaka, A., Blakenborg, D. and Kaplan, T. 2011. "Influence  
of Aggregation and Measurement Scale on Ranking a  
Compromise Alternative in AHP". *Journal of Operational  
Research Society* vol.62, no.4. pp700-710.  
Lootsma, F. A. 1989. "Conflict Resolution via Pairwise Comparison  
of Concessions". *European Journal of Operational Research*  
vol.40. pp109-116.  
Ma, D. and Zheng, X. 1991. "9/9-9/1 Scale Method of AHP".

*Proceedings of the 2nd International Symposium on the AHP.*

Pittsburgh. vol.1. pp197-202.

Saaty, T. L. 1980. *The Analytic Hierarchy Process*. NY : McGraw-Hill  
Inc.

\_\_\_\_\_. 1995. *Decision making for leaders*. RWS Publications :  
Pittsburgh.

Salo, A. A. and Hamalainen, R. P. 1997. "On the Measurement  
of Preferences in the Analytic Hierarchy Process". *Journal  
of Multi-criteria Decision Analysis* vol.6. pp309-319.

Wu, W., Chiang, C. and Lin, C. 2008. "Comparing the Aggregation  
Methods in the Analytic Hierarchy Process when Uniform  
Distribution". *WSEAS Transactions on Business and  
Economics*. vol.5, issue 3. pp82-87.

<http://www.riss.kr/index.do>. [2011. 7. 20].

- 
- 논문 접수일: 2011. 9.19
  - 심사 시작일: 2011.10.14
  - 심사 완료일: 2011.10.28

## Development of Modified Ratio of Pairwise Comparison for Determining Weighting in AHP

**Keywords:** Decision Making, Weighting, AHP, Pairwise Comparison, Ratio Scale

It is important that a weighting of assessment elements is exactly estimated for group decision making. The purposes of this study are to analysis the problem for the existing method of weighting estimation and to develop a improved method. To achieve this, we carried out a survey of three types(AHP, direct point allocation, direct pair comparison) on two separate occasions and elicited the relation of interval of scale and weighting from the survey data. Furthermore, we developed the new modified ratio by using the relation of interval of scale and weight as a weighting estimation method. On a comparison result for the weighting of modified ratio and existing ratio, recognized weighting by respondents was closer modified ratio than existing ratio. From the result of analysis for the “Water Quality : Ecology-Landscape”, relative errors of existing ratio(AIJ/AIP) are 21.36%/17.09% and -30.66%/-24.52% and relative errors of modified ratio(AIJ/AIP) are 5.22%/4.40% and -7.49%/-6.31% respectively. By using the modified ratio of scale interval, we can estimate the weighting that the questionnaire respondents consider and clear away the controversy about AIJ and AIP. This study is expected to provide a weighting estimation method that can derive a decision-maker’s intention in many different fields.

### AHP 가중치 도출을 위한 쌍대비교의 수정비율 개발

**주제어:** 의사결정, 가중치, 계층화분석과정, 쌍대비교, 비율척도

집단 의사결정에 있어서 평가항목 간의 가중치를 정확히 도출하는 것은 중요하다. 본 연구의 목적은 평가항목 간의 가중치 산정에 있어서 기존 방법의 문제점을 분석하고, 이를 개선하는 방법을 개발하는 것이다. 이를 위해 세 가지 유형(AHP, 직접점수응답법, 직접쌍대비교법)으로 설문하여 쌍대비교의 척도구간-가중치의 관계를 분석하고, 이를 이용하여 기존 척도구간별 비율을 수정하였다. 기존 AHP와 본 연구에서 개발한 수정 비율을 통해 산정된 가중치를 비교한 결과, 수정 비율이 응답자가 인지하는 가중치를 더 정확히 산정하는 것으로 분석되었다. “하천수질:생태경관”을 분석한 결과, 기존 비율을 적용한 AIJ/AIP 방식의 상대적 오차는 각각 21.36%/17.09%와 -30.66%/-24.52%였으나, 수정 비율을 적용한 AIP 방식의 상대적 오차는 5.22%/4.40%와 -7.49%/-6.31%로 나타났다. 수정 비율을 적용함으로써 응답자가 인지하는 가중치에 가까운 값을 도출하였고, AIJ 방식과 AIP 방식의 논란을 해결할 수 있었다. 본 연구는 향후 다양한 분야의 의사결정문제에서 의사결정자가 의도하는 평가항목 간의 가중치를 정확히 산정하는 데 기여할 것으로 기대된다.