

가중치산정을 통한 다목적댐 용수의 배분 방안 Allocation of Water Supplied by Multi-Purpose Dam Using the Estimate of Weighting Factors

이 충 성* / 최 승 안** / 심 명 필*** / 정 관 수****

Yi, Choong Sung / Choi, Seung An / Shim, Myung Pil / Jung, Kwan Sue

Abstract

In this study, the principle of water allocation is proposed based on efficiency, equity, sustainability. Also weighting factors are estimated with sectoral factors and regional factors. The former represents relative weights among water use and the latter represents physical characteristics of water demand places. The AHP(Analytic Hierarchy Process) is applied to estimate the sectoral factors, and compounded regional-characteristic factors and regional-scale factors, which reflects socioeconomic statistics for the regional factors. By applying these weighting factors, water allocation rules for dam is developed and applied to Andong dam which supplies water to parts of Busan Shi, Daegu Shi and Goryeong Gun in a water-deficit situation. As a result, it is estimated that Water allocation by priorities distributes the entire water shortage to the lowest rank of water sectors or regions, while water allocation by relative weighting factors disperse all the burdens of water shortage to all sectors and regions.

Keywords : water allocation, efficiency, equity, sustainability, weighting factor, AHP

요 지

본 연구는 합리적 용수배분의 기본원칙으로 효율성, 형평성과 지속가능성을 설정하고, 용도별 용수의 상대적 중요도를 나타내는 용도가중치와 각 수요처의 지역적 특성을 대표하는 지역가중치를 산정하였다. 용도가중치는 계층화 분석과정(AHP, Analytic Hierarchy Process)기법을 사용하였으며, 지역가중치는 사회·경제적 통계치를 반영한 지역특성가중치와 지역규모가중치를 조합하여 산정하였다. 이러한 가중치를 적용하여 댐을 중심으로 한 용수배분 방안을 수립하고 이를 가상 물부족 상황에서 부산, 대구, 고령군 일부를 수요처로 하는 안동댐에 적용하였다. 우선순위(priority)에 의한 용수배분이 최하순위의 용도나 지역에서 모든 물 부족을 부담하는데 반하여 상대적 가중치에 의한 용수배분은 모든 용도와 지역에 물부족량이 분산되므로 보다 합리적인 것으로 판단된다.

핵심용어 : 용수배분, 효율성, 형평성, 지속가능성, 가중치, 계층화분석과정

* 인하대학교 환경토목공학부 박사과정

Doctorate Course, Dept. of Civil and Environmental Engrg., Inha Univ., Incheon 402-751, Korea
(E-mail : g2021533@inhavision.inha.ac.kr / g2021533@inhavision.inha.ac.kr)

** 인하대학교 환경토목공학부 박사과정

Doctorate Course, Dept. of Civil and Environmental Engrg., Inha Univ., Incheon 402-751, Korea
(E-mail : g2021533@inhavision.inha.ac.kr / g2021534@inhavision.inha.ac.kr)

*** 인하대학교 환경토목공학부 교수

Professor, Dept. of Civil and Environmental Engrg., Inha Univ., Incheon 402-751, Korea (E-mail : shim@inha.ac.kr)

**** 충남대학교 토목공학과 조교수

Assistant Professor, Dept. of Civil Engrg., Chungnam National Univ., Daejeon 305-764, Korea
(E-mail : ksjung@cnu.ac.kr)

1. 서론

수자원은 공급측면에서 시간, 장소, 그리고 질에 있어서 가변적이고 불확실하므로 수요자인 각 지역, 단체 혹은 개인간에 깨끗하고 충분한 양의 용수를 확보하고자 하는 갈등이 상존하게 된다. 따라서 용수배분시에는 지역간, 용도간, 시기에 따라 갈등양상이 다른 점을 고려하여야 하며 합리적이고 설득력 있는 기본원칙의 수립이 전제되어야 한다.

용수배분에 관한 연구는 이론적 접근보다는 기존방법을 분류하고 고찰하는데서 시작되었다. 세계은행(World Bank, 1998, 1999), 뉴질랜드 농림부(MAF, 2001), Kärkkäinen(2001) 등은 세계 각지에서 적용중인 용수배분 체계를 유형별로 분류하고 장·단점을 기술하였으며, 정부의 역할과 제도적 보원을 전제로 경제적 효율성과 사회적 형평성을 상황에 따라 적절하게 조합할 수 있는 형태를 이상적인 방법으로 제시하였다. 특히 근래에 들어서는 효율성을 중시하는 물시장에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있으며, 미국, 멕시코, 칠레, 호주 등에서 물시장, 물은행, 물임대 등 다양한 형태로 적용되고 있다.

이밖에도 수리권에 관한 조사·연구와 공유하천에서의 지역간 배분 및 보상에 관한 연구를 통해 합리적인 용수배분을 유도한 사례를 들 수 있다. 대표적인 사례로서 Ringler(2001)는 메콩강 유역을 대상으로 효율성, 형평성, 지속가능성에 입각한 제도적 보완 및 유역통합관리에 의한 거래방식과 보상방식을 설정하는 연구를 수행하였으며, Caponera(1992)가 수리권 관련 법제의 변천과 적용현황에 관한 연구를 수행한 바 있다. 또한 Ridgley(1992, 1993)는 다기준 의사결정기법(MCDM, Multi-Criteria Decision Making)을 적용하여 수요와 공급량에 대한 가목의 파급효과 및 가목시 AHP에 의한 용수배분 방법론 등을 연구하였다.

국내의 경우 체계적인 연구가 미진한 실정이나 최근 물분쟁의 급증에 따라 점차 연구가 활발해지고 있다. 한동근과 김종원(2000)은 보상적 인센티브에 의한 계량경제학적 모형을 지역간 용수배분에 적용하였으며, 물시장 도입도 검토된 바 있다(건설교통부, 2000a). 최승안(2002)과 이현재(2003)는 용수의 편익추정을 통한 경제적 효율성을 최적화하는 방안에 대해 연구하였으며, 수리권 조정을 위한 용수배분방안이 연구되기도 하였다(한국건설기술연구원, 1998; 한국수자원공사, 2002a). 이상과 같은 연구에도 불구하고 국내

의 상황은 아직 미흡한 실정이며 용수배분은 사회, 경제, 법·제도적 문제가 광범위하게 관련되는 만큼 학문적 연구 뿐 아니라 사회적 합의 도출이 매우 중요한 사안이다.

본 연구에서는 다기준의사결정기법(MCDM)의 하나인 계층화분석과정(AHP, Analytic Hierarchy Process)을 이용하여 용도별 가중치를 산정하고, 사회·경제적 통계치를 이용하여 지역특성과 지역규모를 고려할 수 있는 지역간 가중치를 산정하였다. 산정된 가중치를 이용하여 안동댐 유역의 가상 물부족 상황에 수리권을 고려한 용수배분을 실시하여 봄으로써 그 적용성을 검토하였다.

2. 용수배분의 기본개념

2.1 용수배분의 정의 및 목적

배분 혹은 분배란 어떠한 특정 목적이나 정해진 규칙에 의해서 효용을 할당하고 나누는 행위를 의미하는 것으로서, 제한된 서비스나 상품 또는 자원을 할당하는 방법 또는 시스템을 말한다. 즉, 자연적으로 나뉘어진 상태가 아니라 인위적인 시스템 또는 규칙에 의해 나누어지는 과정을 의미하며 수자원의 경우 그 방식이 구조적이든 비구조적이든 간에 제한된 양(질)의 수자원을 특정 목적 또는 용도별로 할당하는 행위를 의미한다. 즉, 용수배분이란 단순하게는 용수수요자에게 물을 나누어주는 것이라 할 수 있으나, 엄밀한 의미로서 '허가된 용수의 사용권이나 우선순위, 즉 수리권에 따라 주어지는 여건변화를 고려하여 형평성에 입각하면서도 용수사용이 보다 효율적인 수요처에서 이루어지도록 하는 것'으로 정의할 수 있다.

기존에 배분된 용수를 합리적으로 재배분하거나 신규수자원을 배분하기 위해서는 경제적, 기술적 검토뿐만 아니라 복잡하게 얽혀있는 수리권에 대한 문제를 어떻게 해결하는가가 첨예한 논점이 된다. 수리권에 대한 문제는 사회적, 법률적인 분석이 수반되어야 하며 이는 일률적인 원칙에 의해서 정해지기보다는 시대에 따라 변하는 사회상을 반영하여 분쟁 당사자들의 합의나 협정과 같은 다양한 각도의 노력들이 경주되어야 한다.

2.2 용수배분의 구성요소와 특성

용수배분의 개략적인 구성은 그림 1과 같이 수문학적 구성요소, 경제적 구성요소, 제도적 구성요소 등 세 가지로 나타낼 수 있다.

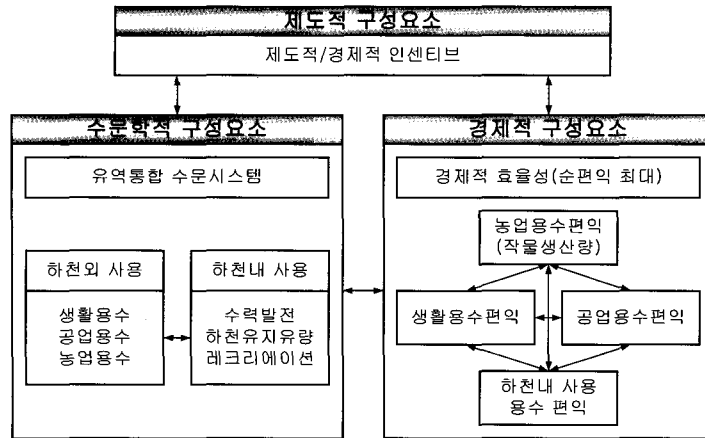


그림 1. 합리적 용수배분을 위한 세 가지 구성요소

(1) 수문학적 구성요소

수문학적 구성요소는 용수의 사용용도에 따라 크게 하천외 사용(offstream use)과 하천내 사용(instream use)으로 나눌 수 있으며 하천외 사용은 생활용수, 공업용수, 농업용수이고 하천내 사용은 수력발전용수, 하천유지용수, 레크리에이션 용수 등으로 나눌 수 있다. 운영을 위한 수문시스템에 따른 주요인자는 아래와 같이 분류할 수 있다.

- 취수지점이나 댐으로부터 용도별 수요처(생활, 공업, 농업)로의 운송 및 균형
- 용도별 용수이용지역으로부터의 회귀수
- 작물재배면적으로부터의 증발산량
- 저수지 방류
- 하천내 용수사용

(2) 경제적 구성요소

경제적 구성요소는 용도별 수요자로부터의 편익을 산정하기 위한 구성요소를 말하며, 용도별 배분시 효율성을 위해서는 순편익이 최대가 되도록 배분량을 산정하여야 한다.

(3) 제도적 구성요소

제도적 구성요소는 수문학적 및 경제적 구성요소에 영향을 미치는 제도적 규정이나 경제적 인센티브를 말한다.

2.3 용수배분의 기본원칙

용수배분에 있어 세계적으로 통용되는 기본원칙은 크게 '공평배분 원칙(doctrine of equitable apportionment)'과 '합리적 이용 원칙(reasonable use rule)' 등이 주류를 이루고 있으나, 구체적인 실행계획(action plan)과 지침(guideline)이 없이, 대부분 추상적이고 모호한 개념이어서 현실문제에 실질적으로 적용하기에는

어려움이 많다. 따라서 좀 더 구체적인 배분기준을 마련하기 위해서는 개념적으로 명확하고 일관되게 정의되는 원칙이 필요하다. 이를 위해 본 연구에서는 용수배분의 기본원칙으로 경제적 효율성, 사회적 형평성, 지속가능성을 설정하고 이들 원칙을 토대로 세부적 기준을 마련하고자 하였다.

(1) 경제적 효율성

합리적 용수배분을 위해서는 '물'이란 자원이 가지는 복잡한 사회·경제적 특수성이 모두 반영되어야 하겠지만 먼저 검토해야 할 부분은 경제체로서의 용수배분의 효율성(efficiency)이 될 것이다. 효율성 개념은 경제적, 사회적, 정책적 분야에서 모두 사용될 수 있지만 용수배분의 효율성은 경제적인 효율성 즉, 수자원이 갖는 공공성에 비해 가공되어진 '용수'의 공급은 수요자의 요구량을 만족시킬 수 없는 경우에는 시장논리에 의한 경제체로서 파악되어야 한다는 것이다. 물론 경제적 효율성만으로 인간의 삶에 필수적인 용수의 배분을 결정짓는다는 것은 자칫 형평성과 분배적 정의의 측면에서 볼 때 비합리적일 수 있다. 그러나 누구나 만족하는 용수배분을 위한 1차적 판단기준은 경제적 효율성에 대한 검토가 가장 객관적이라 할 수 있다.

(2) 사회적 형평성

사회적 형평성 원칙이란 배분의 모든 과정이 경제적 수준이 서로 다른 집단사이에도 평등하게 이루어져야 하며, 현재 사용자뿐만 아니라 잠재적 사용자간의 형평성도 고려하여 배분되어야 하며, 기본적 필요를 충족시키기 위한 용수는 구매능력에 상관없이 할당되어야 한다는 것이다. 경제적 효율성에 입각한 용수배분이 자원 배분측면에서는 가장 효율적인 것이지만 경제적, 정치적, 사회적 능력에 따라 구매력이 달라지는 만큼, 어떤

상태로 용수가 배분되었을 때 모두가 만족하며, 상대적 손실감을 느끼지 않을 것인가는 객관적 분석의 대상이 아닌 가치판단의 영역에 속하는 문제이다.

(3) 지속가능성

지속가능성이란 미래세대를 위한 보전, 환경·생태적 지속성, 사회·경제적 지속성 등의 개념을 담고 있다. 미래세대를 위한 보전이란 물 사용에 있어서 현세대의 필요와 미래세대의 권리를 조화시키는 세대간 형평성을 의미한다. 환경·생태적 지속성은 수자원 개발과 이용이 환경적으로 건전하고 자연친화적이며 생태계의 생산성과 적응성, 재생산 능력을 손상시키지 않는 범위 내에서 이루어지는 것을 의미한다. 사회·경제적 지속성이란 사회적, 문화적 규범체계가 급격히 붕괴되거나 소멸되지 않는 범위내의 점진적인 개발과 동시에 사회전체의 후생 증대를 통한 사회적 편익이 최대가 되는 수준의 배분을 의미한다.

3. 용수배분의 가중치 선정

앞에서 제시한 용수배분의 구성요소에서 경제적 구성요소는 순편익이 최대가 되는 상태를 찾아내어 용도별 수요함수를 도출해내야 하나 국내에서는 아직 수요

함수 작성사례가 없으므로 본 연구에서는 어려운 형편이다. 또한 제도적 구성요소는 적절한 법·제도 개선방안의 제시가 별도로 다루어져야 하므로 오히려 후행적인 과정이라고 할 수 있다. 따라서 본 연구는 용수배분의 기본원칙에 입각한 하위의 영향인자들의 정성적·정량적 평가를 통해 용수배분을 결정짓는 가중치를 결정하고 이에 따른 배분방법을 제시하였다.

3.1 계층화분석과정

(AHP, Analytic Hierarchy Process)

AHP는 의사결정의 전 과정을 다수의 계층(level)으로 설계한 후, 계층별 기준 및 대안들의 중요도를 서로 비교하는 쌍대응비교법(paired comparisons method)에 의해 단계별로 평가함으로써 최종적인 의사결정에 이르는 것을 지원하는 다기준의사결정기법의 하나로, 1970년대 초 Thomas L. Saaty에 의해 개발되었다. 일반적으로 AHP의 분석과정은 그림 2와 같이 나타낼 수 있다.

의사결정자가 한 수준에서 n 개의 비교항목에 대해 nC_2 회의 쌍대응비교를 수행하면 비교행(comparison matrix) A 가 만들어지며 A 는 주대각선의 원소값이 모두 1이 되는 역수행렬(reciprocal matrix)을 이룬다.

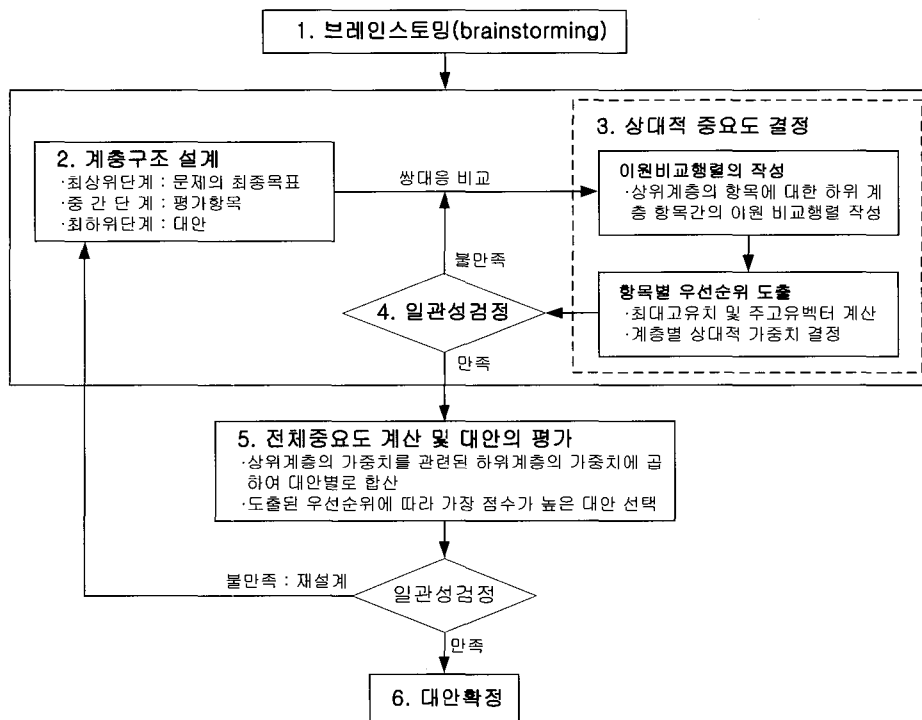


그림 2. AHP기법의 분석과정

비교행렬을 종합하여 가중치를 부여하고 가산하기 위해서는 비교행렬 A 의 최대고유치(maximum eigenvalue)에 대응하는 주고유벡터(dominant eigenvector)의 요소를 가중치로 이용하는 고유벡터법(eigenvector method)이 사용되며 기본식은 식 (1)과 같다.

$$A\vec{u} = \lambda_{\max} \vec{u} \quad (1)$$

여기서, λ_{\max} 는 최대고유치이며 이때의 고유벡터 $\vec{u} = (u_1, u_2, \dots, u_n)$ 를 주고유벡터라고 한다.

고유벡터법은 판단의 불일치성을 측정하는 수단이 되기도 한다. Saaty(1980)에 의하면 식 (2) 및 식 (3)과 같은 일관성지수(CI, Consistency Index)와 일관성비율(CR, Consistency Ratio)을 구함으로써 일관성검정(consistency test)을 할 수 있으며 $CR < 0.2$ 일 경우 용납할 수 있는 수준의 일관성을 구비한 것으로 판단한다.

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) \quad (2)$$

$$CR = CI / RI \quad (3)$$

여기서, 무작위지수 RI는 1에서 9까지 정수들을 무작위로 추출하여 역수행렬을 작성한 후 일관성지수를 구한 것으로, Saaty(1980)는 표본 500개로부터 구한 무작위지수를 평균하여 나타내었다.

3.2 용도가중치

용도별 용수의 배분가중치는 AHP기법을 이용하여 결정하였다. AHP기법으로 산출된 용도가중치는 주평가기준과 세부평가기준에 의해 경제, 정치, 사회, 제도, 환경 등의 복잡한 다기준 요소들이 반영되어 있으므로 용수배분에 관계하는 이 같은 복잡한 인자들을 간접적으로 반영하고 있다. 계층은 총 6단계로 설계하였으며, 크게 평가집단, 상황설정, 주평가기준, 세부평가기준, 대안으로 구분하였다. 그림 3은 AHP계층도를 나타내고 있으며 표 1과 2는 각각 설정된 상황과 평가기준에 대해 설명하고 있다.

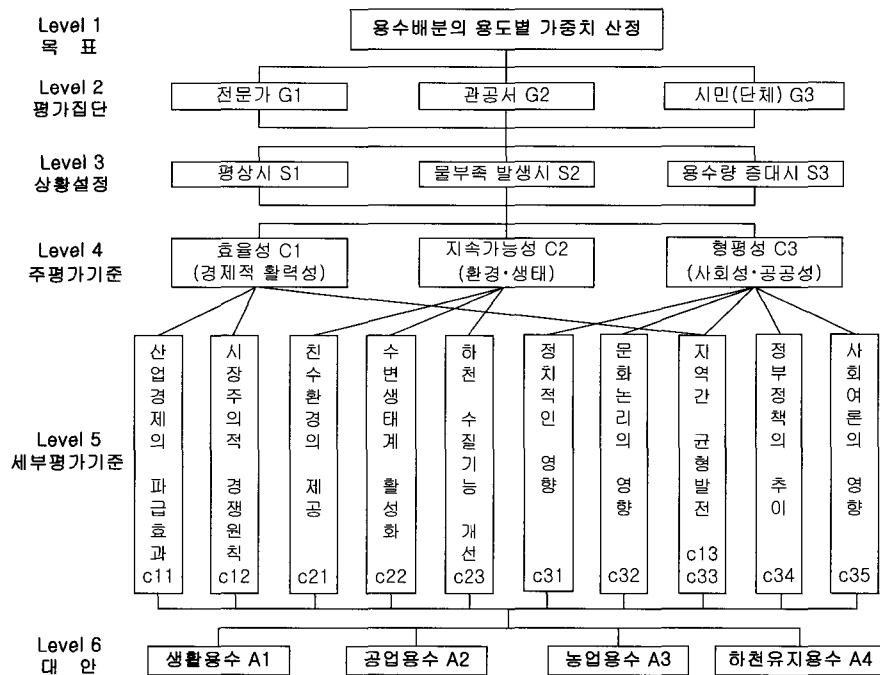


그림 3. 용수배분을 위한 AHP계층도

표 1. 용수배분의 상황 설정

배분상황	설 명
평상시	정상적으로 수자원관리가 이루어지고 있는 상황으로 특정한 사유에 의해 용수공급 가능량이 변화하지 않는 상황
물부족 발생시	가뭄발생이나 공급시설의 이상으로 인해 용수공급 가능량이 현저히 감소하는 일시적 물부족상황
용수량 증대시	기존 용수배분 체계에서 추가의 용수량이 발생하였을 때를 상정하며 여분의 잉여수의 개념

일반적으로 계층의 설계에서는 같은 계층의 요소들끼리는 독립성을 가지고 있어야 하며 한 계층의 요소들이 인접한 상위 계층의 요소들에 대해서는 종속적이어야 한다. 본 연구의 대안은 용수의 용도별 분류인 생활·공업·농업·하천유지용수로서 배분될 용수의 용도별 분류는 명확하므로 대안간에는 상호독립이 성립한다고 할 수 있다. 또한 평가기준들(Level 4, 5)의 의미는 표 2에서 정의한 바와 같으며 각각 독립성이 성립하는 것으로 전제하였다.

세부평가기준과 대안간의 종속관계에 있어서 대안은 기준에 종속적이나 계층의 목적이 용수의 배분에만 한정되므로 배분으로 인해 역으로 대안이 기준에 영향을 미치는 상승적 종속성은 없는 것으로 판단되었다. 주평가기준과 세부평가기준은 하위기준이 인접한 상위계층의 모든 기준의 관점에서 비교되지 않는 불완전계층을 이루고 있으며 세부평가기준의 요소들은 각각의 주평가기준에 대해 종속적인 항목으로 구성되었다.

집단의사결정을 위한 개인의 의견 통합방법으로는 가중산술평균방법(WAMM, Weighted Arithmetic Mean Method)과 기하평균방법(GMM, Geometric Mean Method)을 사용하였는데, WAMM은 선호도들의 가중된 산술평균을 이용하여 집단판단을 구하는 방법으로서 그림 3에서와 같이 집단 구성원들이 AHP계층의

하나로서 포함되게 된다.

본 연구에서는 평가집단으로 다양한 분야의 사람들이 그들만의 권한이나 전문분야의 차이, 선호의 강도 등에 걸맞게 적절한 가중치를 부여할 수 있도록 대학 및 연구소의 수자원관련 전문가집단, 정부와 공기업 등 수자원 정책결정 및 집행을 담당하는 관공서집단, 환경운동에 관여하고 있는 시민단체를 선정하였다. 따라서 3개의 집단간에는 고유벡터방법을 이용한 WAMM을 적용하였으며, 각 집단내의 의견은 GMM으로 통합하였다. 표 3은 WAMM에서 의사결정자들이 생각하기에 세 집단 중 그 의사를 가장 우선적으로 고려해야 하는 집단이 어디인지를 쌍대용비교하여 각 집단에 할당된 가중치를 나타내고 있다.

각 평가집단의 의사결정 참여자들은 표 1과 같이 변화하는 수자원의 상황에 따라 자신의 의견이나 판단을 변경할 수 있다. 만약 이러한 상황변화에 대한 고려가 되지 않는다면 다양한 배분상황에 대해 유동적으로 대처할 수 없게 된다.

쌍대용비교 설문은 Saaty의 9점 척도를 이용하여 평가하였으며, 배포자 140명 중 89명이 설문에 응답하였다. 하지만, 여기서 제기될 수 있는 문제는 어떻게 개인적 판단의 집합이 집단판단의 집합에 잘 일치될 수 있겠는가 하는 점이며 이를 위하여 CR을 이용한 일관성

표 2. 평가기준의 설명

주항목	세부항목	설명
효율성 (경제적 활력성)	1. 산업경제의 파급효과 2. 시장주의적 경쟁원칙 3. 지역간 균형발전	<ul style="list-style-type: none"> 전체산업의 생산성과 성장에 미치는 영향 경제적 효율성 이외의 능력차이를 배려하지 않는 경쟁적 배분 지역간의 균형적 발전이 국가경제 전체적으로 볼 때에도 효율적인 발전
형평성 (사회성, 공공성)	1. 정치적인 영향 2. 문화논리의 영향 3. 지역간 균형발전 4. 정부정책의 추이 5. 사회여론의 영향	<ul style="list-style-type: none"> 지방자치로 인한 지역논리 등 정치논리 전통적 관습이나 국민 정서 등 문화적 영향 성장의 안배와 같은 지역간 형평성 문제 정부의 물관리 정책의 추이 전문가, 국민, 언론 등 여론의 영향
지속가능성 (환경, 생태성)	1. 친수환경 제공 2. 수변생태계 활성화 3. 하천수질 기능 개선	<ul style="list-style-type: none"> 시민들에게 휴식, 레크리에이션 등의 환경 제공 건전한 수변생태계 유지 하천 자정능력 강화 등 수질개선 효과

표 3. 각 집단이 생각하는 평가집단간 가중치

평가주체 \ 평가대상	전문가	관공서	시민단체
전문가의 판단	① 0.448	② 0.414	③ 0.138
관공서의 판단	① 0.445	② 0.404	③ 0.151
시민단체의 판단	② 0.282	③ 0.187	① 0.531
가중치 합산	1.175	1.004	0.821
정규화	① 0.392	② 0.335	③ 0.274

척도(consistency measure)를 이용할 수 있다. 따라서 89명의 응답자 중 52명은 낮은 일관성비율로(CR>0.2) 표본에서 제외시켰으며 최종분석 자료로 사용된 응답은 전문가 11명, 관공서 18명, 시민단체 8명이었다. 이로부터 구성된 종합비교행렬을 고유벡터법으로 계산하여 표 4와 같이 용도가중치를 산정하였다.

표 4에서 전 집단은 각 평가집단별 가중치를 WAMM으로 통합한 것이다. 전체상황총괄에서의 전 집단 용도가중치는 생활용수(0.344), 공업용수(0.247), 하천유지용수(0.212), 농업용수(0.197)의 순서로 중요하게 평가되었으며 용수사용량의 절반정도를 차지하는 농업용수의 가중치가 가장 작게 평가된 점이 주목된다.

각 상황별로도 집단별 용도가중치는 모두 비슷한 결과를 보였는데, 전문가와 관공서의 농업용수에 대한 중요도가 매우 낮게 평가된 결과로 분석된다. 다만 물 부족시에는 전문가와 시민단체가 농업용수를 각각 하천유지용수(0.207), 공업용수(0.190)보다 높은 0.209, 0.261로

중요하게 생각하였다. 평가집단별로는 전문가와 관공서는 전반적으로 생활용수를 가장 중요하게 평가하였고 시민단체는 하천유지용수를 가장 중요하게 평가하였다. 또 전문가와 관공서가 농업용수를 가장 낮게 평가한데 비해 시민단체는 공업용수를 가장 낮게 평가하였다.

전체적인 분석결과 전 항목에서 관공서와 시민단체의 평가가 상반된 면을 많이 보였고 전문가는 관공서와 시민단체의 중간정도의 의견을 보이는 것으로 분석되었다.

3.3 지역가중치

용도별 용수간의 배분가중치나 우선순위의 설정은 효율성 측면에서는 매우 중요하지만 일반적으로 용수는 지역 또는 집단을 대상으로 배분되는 것이 현실이다. 만약 지역적인 고려 없이 용도별 중요도에 의해서만 배분한다면 특정용도의 수요가 편중된 지역은 지나치게 과대 혹은 과소 배분 될 수 있어서 형평성을 만족하기 어렵다. 따라서 지역규모와 특성을 반영하여, 지역간의 상대적 중요도인 지역가중치를 표 5와 같이 산정하였다.

표 4. 용도가중치의 산정

상 황	평가대안	전 집단	전문가	관공서	시민단체
전체상황 총괄	생활용수	0.344	0.295	0.467	0.263
	공업용수	0.247	0.284	0.254	0.188
	농업용수	0.197	0.208	0.133	0.260
	하천유지용수	0.212	0.213	0.147	0.289
평상시	생활용수	0.335	0.286	0.458	0.254
	공업용수	0.241	0.277	0.245	0.184
	농업용수	0.197	0.207	0.136	0.257
	하천유지용수	0.227	0.230	0.161	0.305
물 부족시	생활용수	0.348	0.298	0.474	0.267
	공업용수	0.251	0.286	0.259	0.190
	농업용수	0.197	0.209	0.130	0.261
	하천유지용수	0.204	0.207	0.137	0.282
용수량 증대시	생활용수	0.330	0.284	0.448	0.251
	공업용수	0.238	0.280	0.238	0.182
	농업용수	0.198	0.207	0.139	0.256
	하천유지용수	0.234	0.229	0.175	0.311

표 5. 지역가중치의 산정방법

		가중치 산정식	설 명
지역 규모 가중치	생활용수	$\frac{Dd_A}{Dd_A + Dd_B} : \frac{Dd_B}{Dd_A + Dd_B}$	Dd_A, Dd_B : A, B지역의 생활용수 수요량 Di_A, Di_B : A, B지역의 공업용수 수요량 Da_A, Da_B : A, B지역의 농업용수 수요량
	공업용수	$\frac{Di_A}{Di_A + Di_B} : \frac{Di_B}{Di_A + Di_B}$	
	농업용수	$\frac{Da_A}{Da_A + Da_B} : \frac{Da_B}{Da_A + Da_B}$	
지역 특성 가중치	도시화율	$\frac{U_A}{U_A + U_B} : \frac{U_B}{U_A + U_B}$	U = 토지지목상(대지+공장용지+학교용지) /행정구역 면적×100 F = 국가·지방산업단지, 농공단지 면적 /행정구역 면적×100 R = 토지지목상(전+답+과수원) /행정구역 면적×100
	공업화율	$\frac{F_A}{F_A + F_B} : \frac{F_B}{F_A + F_B}$	
	농업화율	$\frac{R_A}{R_A + R_B} : \frac{R_B}{R_A + R_B}$	

지역규모가중치로 사용되는 지역내 용수 수요량은 지역의 인구나 경제적 규모를 반영하고 있으므로 이를 통해 지역규모에 따른 용도별 수요량의 상대적 비율을 감안할 수 있게 된다. 지역특성가중치는 지역의 도시화율, 공업화율 및 농업화율을 계산하여 지역간 용수수요의 절대적 규모와는 상관없이 지역내에서 우월적 중요도를 갖는 용도에 대한 형평성 차원의 고려를 하기 위함이다. 이렇게 산정된 지역규모가중치와 지역특성가중치는 용수배분의 상황별로 개별적으로 사용하기도 하고 곱하여 지역가중치로서 사용할 수도 있다.

고 수요량, 계약량, 사용량 등을 수량인자로 하여 댐을 중심으로 한 배분방안을 제시하였다. 계약량과 사용량은 「한국수자원공사법」과 「댐용수공급규정」 등에 제시된 것으로 계약량은 용수 수요자가 댐사용권자와 계약하여 취수할 수 있는 일정기간 동안의 댐용수량을 말하며, 사용량은 댐용수 사용계약에 의해 수요자가 사용하는 용수량으로서 계량기에 검침된 수량을 말한다.

그림 4는 가중치를 이용한 용수배분의 절차를 나타내고 있다. 그림에서 통합평가가중치는 용도가중치와 지역가중치를 결합한 가중치로서 용도가중치에 각 지역의 지역가중치를 곱한 후 나온 값을 정규화(normalization)하여 산정 할 수 있다.

3.4 상황별 용수배분의 방법론 도출

본 연구에서는 용수배분을 몇 가지 상황으로 분류하

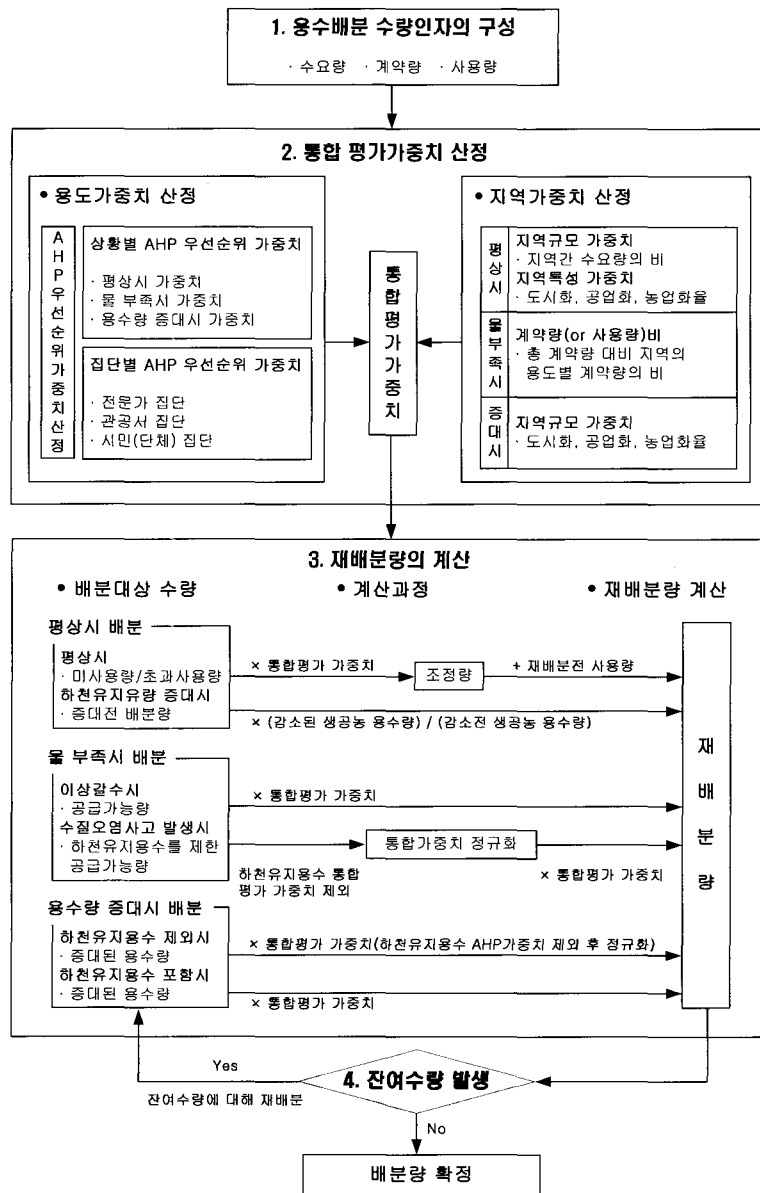


그림 4. 상황별 배분방안의 절차

4. 적용 및 분석

본 연구는 안동댐의 가상 물부족 상황에 대하여 용수배분을 실시하였다. 물부족 상황은 댐사용권 전량이 공급가능량이고, 수요량이 댐사용권을 초과하는 경우로 가정하였다. 안동댐은 추가수량 확보가 없을 경우, 현재의 수요 증가율만을 고려할 때 2011년에는 공급량이 부족할 것으로 추정되어, 이때 안동댐과 안동댐으로부터 용수를 공급받는 주변 지방자치단체를 대상으로 용수배분이 어떻게 이루어질 수 있는지에 대하여 검토하였다. 안동다목적댐은 부산시, 대구시, 고령군에 계약에 의한 용수를 공급하고 있으며 2001년 댐사용권 대비 총 계약량의 비율이 90.83%로서 전국 다목적댐 가운데 가장 높다(한국수자원공사, 2002b).

4.1 용수배분 모의

용도별 배분에 이용될 용도가중치는 표 4에서 산정된 물부족 상황의 AHP가중치를 사용하였다. 지역가중치는 물부족시에 지역규모가중치에 해당하는 계약량비 혹은 사용량비를 사용해야 하지만 2011년의 계약량 및 사용량은 없으므로 수요량비로 대신하였으며 용도가중치와 지역가중치를 결합하여 표 6과 같이 통합평가가중치를 산정하였다.

표 7의 지역별 수요처의 2011년 용도별 수요량은 2001년 안동댐의 수요처별 계약량(한국수자원공사, 2002b)에 2001~2011년 수요 증가율(건설교통부, 2000b)

을 감안하여 산정하였다.

모의과정은 초기 용수배분 시행 후 결과를 용도별, 지역별로 분석했을 때 배분량 상한으로 설정한 2011년 수요량을 초과하는 과다배분이 발생한 경우, 초과수량만을 대상으로 하여 2차 배분을 시행하였다. 이때 과다배분이 발생한 용도나 지역의 용수는 추가배분의 대상에서 제외되며, 통합평가가중치 역시 추가배분대상이 되는 용도나 지역의 가중치만을 정규화하여 사용하였다. 이는 물부족 상황임을 고려하여 어떠한 용도나 지역에서도 수요량을 초과하여 배분되는 것을 막기 위해서다. 이러한 배분과정은 과다배분량이 없어질 때까지 계속하였으며 최종 배분결과를 표 8에 나타내었다. 표 8에서 충족률이란 입력자료인 2011년 수요량에 대한 최종 배분량의 비로서, 충족률이 100%일 때 2011년 수요량이 재배분을 통해 전량 공급됨을 의미한다.

4.2 결과의 분석

표 8에서 보면 용도가중치의 순서가 생활>공업>농업>하천유지용수로 동일하게 나타난 총괄 및 전문가, 관공서의 경우 생활 및 공업용수를 전량 우선충족시키고 농업용수와 하천유지용수 부문에서 물부족을 나타내는 등 비슷한 결과를 나타내었다. 그러나 이는 높은 도시화가 전개된 부산시나 대구시에 비해 농업용수 비율이 높은 고령군(2001년 계약량 기준 15%)에 상대적으로 심각한 물부족을 가져다주는 것으로 분석되었으며,

표 6. 물부족시 평가집단별 통합평가가중치

구분	전문가			관공서			시민단체			총괄		
	부산	대구	고령	부산	대구	고령	부산	대구	고령	부산	대구	고령
생활용수	0.1986	0.3608	0.0022	0.2585	0.4695	0.0029	0.1807	0.3281	0.0020	0.2170	0.3941	0.0024
공업용수	0.0017	0.1622	0.0005	0.0013	0.1200	0.0003	0.0012	0.1095	0.0003	0.0014	0.1328	0.0004
농업용수	-	0.0029	0.0003	-	0.0015	0.0002	-	0.0037	0.0004	-	0.0026	0.0003
하천유지용수	0.2707			0.1457			0.3741			0.2490		
계	1			1			1			1		

표 7. 2011년 각 지역의 용도별 예상 수요량 (단위:천m³/년)

행정구역	2001년 계약량					2011년 수요량				
	생·공·농업 용수			계	하천유지	생·공·농업 용수			계	하천유지
	생활	공업	농업			생활	공업	농업		
부산	116,781	0	0	116,781	176,000	113,656	1,030	0	114,686	222,554
대구	198,925	92,017	0	290,942		206,427	96,719	2,400	305,546	
고령군	730	274	0	1,004		1,268	277	280	1,825	
계	316,436	92,291	0	408,727	584,727	321,350	98,026	2,680	422,056	644,610

표 8. 통합평가가중치를 적용한 용수배분 결과

(단위:천 m³/년)

1. 평가집단 별 배분량 (배분대상 수량 : 626,0001), 전체수요량 : 644,610)								
평가집단	총괄				전문가			
	부산	대구	고령	용도별합	부산	대구	고령	용도별합
생활	113,656	206,427	1,268	321,350	113,656	206,427	1,268	321,350
공업	1,030	96,719	277	98,026	1,030	96,719	277	98,026
농업	0	2,119	247	2,366	0	2,213	258	2,471
지자체합	114,686	305,265	1,792	421,742	114,686	305,359	1,803	421,847
하천유지용수	204,258			204,258	204,153			204,153
계	626,000			626,000	626,000			626,000
평가집단	관공서				시민단체			
	부산	대구	고령	용도별합	부산	대구	고령	용도별합
생활	113,656	206,427	1,268	321,350	113,656	206,427	1,268	321,350
공업	1,030	96,719	277	98,026	834	78,357	224	79,416
농업	0	2,085	243	2,328	0	2,400	280	2,680
지자체합	114,686	305,231	1,788	421,705	114,490	287,184	1,772	403,446
하천유지용수	204,295			204,295	222,554			222,554
계	626,000			626,000	626,000			626,000
2. 평가집단 별 충족률								
용도	2011년 수요량			충족률(%)				
	부산	대구	고령	총괄	전문가	공무원	시민단체	
생활	113,656	206,427	1,268	100	100	100	100	
공업	1,030	96,719	277	100	100	100	81.01	
농업	0	2,400	280	88.28	92.20	86.88	100	
지자체계	114,686	305,546	1,825	99.93	99.95	99.92	95.59	
하천유지용수	222,554			91.78	91.73	91.80	100	
계	644,610			97.11	97.11	97.11	97.11	
3. 평가집단 별 부족량								
평가집단	총괄				전문가			
	부산	대구	고령	용도별합	부산	대구	고령	용도별합
생활	0	0	0	0	0	0	0	0
공업	0	0	0	0	0	0	0	0
농업	0	281	33	314	0	187	22	209
지자체계	0	281	33	314	0	187	22	209
하천유지용수	18,296			18,296	18,401			18,401
계	18,610			18,610	18,610			18,610
평가집단	관공서				시민단체			
	부산	대구	고령	용도별합	부산	대구	고령	용도별합
생활	0	0	0	0	0	0	0	0
공업	0	0	0	0	196	18,362	53	18,610
농업	0	315	37	352	0	0	0	0
지자체계	0	315	37	352	196	18,362	53	18,610
하천유지용수	18,259			18,259	0			0
계	18,610			18,610	18,610			18,610

주) 1) 안동댐 댐사용권 : 926,000 (생공용수 450,000, 농업용수 300,000, 하천유지용수 176,000)

※ 현재 농업용수 댐사용권은 전량 소모되어 배분대상에서 제외하였고, 추가 농업용수 수요에 대해서만 생·공용수 및 하천유지용수를 용도전환하여 추가계약에 의해 배분하는 것으로 하였음

고령군의 높은 농업 의존적 경제구조를 고려했을 때 실질적인 피해도 더욱 클 것으로 예상된다. 이는 물부족 시 배분에서는 지역특성에 대한 고려보다는 지역규모가 중치나 용도가중치를 우선한다는 본 연구의 배분원칙에 따른 것이다. 그러나 고령군보다 극단적인 경제구조를

가진 수요처를 감안한다면 이를 해결하기 위한 사회적 합의 등 의사결정체계에 대한 추가 연구는 필요할 것으로 판단된다.

다른 평가그룹들과는 달리 시민단체의 경우 하천유지용수와 농업용수에 상대적으로 높은 가중치를 부여하

고 있으며, 결과 또한 생활, 하천유지용수, 농업용수가 전량 우선충족되고, 공업용수부문에서 20%에 가까운 물부족을 보이는 등 상이한 것으로 분석되었다. 이는 AHP가중치가 각 단체의 이해관계나 목표를 상당히 반영하고 있으며, 결과의 비객관적 성향이나 편중, 소수피해를 막기 위해서는 분석시 다양한 분야의 전문가 및 단체가 참여해야함을 보여주는 실례로 간주된다.

하천유지용수를 제외한 모든 지자체의 총수요량(2011년 생·공·농업용수 수요량)에 대해서, 충족률을 기준으로 분석해보면, 전문가집단(99.95% 충족)이 가장 높은 결과를 보여주었으며, 시민단체(95.59%)가 가장 낮고 절대량에 있어서도 가장 많은 부족량(18,610천m³/년)을 나타내고 있다. 반면 하천유지용수의 경우 전문가가 가장 낮은 충족률(91.73%)을 나타내고 있는 반면 시민단체는 전량을 충족함으로써 반대의 결과를 보여준다.

5. 결 론

본 연구에서는 용수배분을 위한 기본원칙으로 경제적 효율성, 사회적 형평성, 지속가능성으로 제시하였다. 용수배분의 1차적 기준이라 할 수 있는 경제적 효율성에 의한 배분은 기반자료의 미비로 어려움이 있었으며, 형평성과 지속가능성을 고려할 수 있는 방안으로서 다기준 의사결정기법인 계층화 분석 과정(Analytic Hierachy Process ; AHP)에 의한 용도가중치를 산정하였다. AHP기법은 대안결정을 위한 가중치로의 사용가능 여부에 대해서는 논쟁의 여지가 있을 수 있으나, 우선순위 결정뿐만 아니라 대안의 가중치를 위해서도 효과적인 도구 역할을 할 수 있다고 판단되었다.

본 연구의 용수배분 방법은 가중치에 의한 배분 방식을 택하고 있는데, 우선순위(priority)에 의한 용수배분이 최하순위의 용도나 지역에서 모든 물부족을 부담하는데 반하여 상대적 가중치(weighting factor)에 의한 용수배분은 모든 용도와 지역에 물부족량이 분산되므로 보다 합리적인 것으로 판단된다. 그러나 안동댐유역의 모의에서 얻어진 배분결과를 보면 가중치가 높은 용도의 용수가 우선충족 되는 현상을 볼 수가 있다. 이러한 현상은 상위순위의 가중치가 하위순위보다 월등히 높을 때 나타날 수 있지만, 금회 모의에서는 상한을 수요량으로 설정하여 비롯된 것이다. 따라서 용수배분시 용도별, 지역별 상·하한의 적절한 설정은 매우 중요하며 향후 심도 있게 논의되어야 할 것이다. 특

히 물부족시 배분에서 상·하한은 더욱 중요한 의미를 갖게 된다.

감사의 글

본 연구는 한국수자원공사의 “기존댐 합리적 용수배분을 통한 수리권 조정방안 연구(2002)”의 일부로서 수행되었으며 한국수자원공사의 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 건설교통부 (2000a). 수리권 거래제도 도입방안 연구.
 건설교통부 (2000b). 수자원장기종합계획.
 이현재 (2003). 가뭄시 용수배분을 고려한 저수지 운영. 박사학위논문, 인하대학교, pp. 63-81.
 최승안 (2002). 수자원의 최적배분을 위한 AQUARIUS 모형의 적용성 연구. 석사학위논문, 인하대학교.
 한국건설기술연구원 (1998). 수리권제도. 건기연 98-004.
 한국수자원공사 (2002a). 기존댐 합리적 용수배분을 통한 수리권 조정방안 연구.
 한국수자원공사 (2002b). 다목적댐 운영 실무편람.
 한동근, 김종원 (2000). “유수자원(流水資源)의 지역간 배분보상.” 자원·환경경제연구, 한국환경경제학회, 제9권, 제4호, pp. 621-639.
 Caponera, D.C. (1992). *Principles of Water Law and Administration*. Balkema, Rotterdam.
 Kärkkäinen, T. (2001). *Pricing Irrigation Water(With a focus on developing country)*. Research Report 2001, Helsinki University of Technology.
 MAF (2001). *Economic Efficiency of Water Allocation*. MAF Technical Paper No : 2001/7, Ministry of Agriculture and Forestry, New Zealand.
 Ridgley, M.A. (1992). “Selection of Water-Supply Projects under Drought.” *Journal of Environmental Systems*, Baywood Publishing, Vol. 21, No. 3, pp. 207-221.
 Ridgley, M.A. (1993). “A Multicriteria Approach to Allocating Water During Drought.” *Resource Management and Optimization*, Harwood Academic Publishers GmbH, Vol. 9, No. 2, pp. 135-149.
 Ringler, C. (2001). *Optimal Allocation and Use of Water Resources in the Mekong River Basin : Multi-Country and Intersectoral Analyses*. Peter Lang., Germany, pp. 5-14.
 Satty, T.L. (1977). “A Scaling Method for Priorities

in Hierarchical Structures." *Journal of Mathematical Psychology*, vol. 15, no. 3, pp. 234-281, June 1977.

Satty, T.L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York.

World Bank (1998). *Water Allocation Mechanisms*

Principles and Examples. Washington, D.C.

World Bank (1999). *Inter Sectoral Water Allocation, Planning and Management*. Washington, D.C.

(논문번호:03-106/접수:2003.11.21/심사완료:2004.07.21)