

수자원 확보기술개발사업의 가치평가 모형 구축에 관한 연구

A Study on the Development of an Evaluation System
for Water Resources Technology Research and Development Projects

김 현 경* / 정 다 연** / 허 은 념***

Kim, Hyunkeong / Jeong, Da Yeon / Heo, Eunnyeong

Abstract

In this study, an evaluation system for a water resources technology research and development project, which is one of the 21C frontier R&D programs sponsored by Korea Ministry of Science and Technology, is proposed. The purpose of this paper is to contribute in the implementation of an efficient R&D policy scheme and in the successful commercialization and diffusion of water resources technologies through proper evaluation of water resources technology R&D projects. The evaluation system is consisted of two levels of evaluation categories and attributes to reflect qualitative evaluation as well as quantitative evaluation of the water resources technology development. The weights of 4 evaluation categories and 26 attributes are calculated by using Analytic Hierarchy Process(AHP). To demonstrate the evaluation system, a numerical example of water resources technology evaluation is presented.

keywords : technology evaluation system, sustainable water resources technology, AHP

요 지

본 연구에서는 과학기술부의 21C 프론티어 사업 중 하나인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단에서 연구 개발 중인 수자원 확보기술을 대상으로 기술평가 모형을 구축하였다. 이는 개발기술의 가치평가를 통하여 R&D가 효율적으로 사용되고 개발된 기술이 실용화 단계까지 성공적으로 갈 수 있도록 기여함에 있다. 수자원 확보기술의 성격을 반영할 수 있도록 정량적 평가뿐만 아니라 정성적 평가가 모두 가능한 2개의 계층으로 이루어진 평가틀이 구축되었다. 4개의 평가기준과 26개의 평가속성들의 가중치는 계층분석과정(AHP, Analytic Hierarchy Process)기법을 이용하여 산정되었다. 구축된 기술평가틀을 2개의 수자원 확보기술 가치평가에 적용시켜 평가틀이 어떻게 사용될 수 있는지 또한 제시하였다.

핵심용어 : 기술평가, 수자원 확보기술, AHP

* 서울대학교 지구환경시스템공학부 박사과정

Ph.D. Candidate, School of Civil and Environmental Engrg., Seoul National Univ., Seoul 151-742, Korea
(e-mail: keong122@snu.ac.kr)

** 서울대학교 지구환경시스템공학부

School of Civil and Environmental Engrg., Seoul National Univ., Seoul, Korea

*** 서울대학교 지구환경시스템공학부 부교수

Associate professor, School of Civil and Environmental Engrg., Seoul National Univ., Seoul, Korea
(e-mail: heoe@snu.ac.kr)

1. 서론

우리나라와 같은 자원이 희박한 나라에서는 지속적인 경제성장과 사회발전을 도모할 수 있는 유일한 길이 기술개발을 통해 세계시장에서 경쟁력을 확보할 수 있는 혁신적인 제품의 개발 또는 제품생산에 소요되는 비용의 획기적인 절감이라는 점에 대해서는 대체로 견해가 일치되고 있다. 그러나 기술이 산업에서의 경쟁력을 결정짓는 가장 중요한 요인 중 하나임에도 불구하고, 하나의 새로운 기술을 개발한다는 것은 실패할 확률이 높고 이에 따른 위험부담이 크기 때문에 민간기업들은 기초기술 및 원천기술 개발 보다는 기 개발된 기술을 토대로 상용화 연구에 의존하는 경향이 있다. 따라서 대부분의 나라에서는 정부가 미래 경쟁력의 핵심이 되는 기초기술 및 원천기술의 개발을 위해 막대한 R&D 투자를 아끼지 않고 있는 실정이다.

우리나라의 경우도 정부를 중심으로 R&D에 대한 투자를 지속적으로 확대하여 왔다. 1999년~2005년 기간 동안 정부 R&D 투자는 연평균 13.4% 수준으로 같은 기간 중 예산 증가율 12.9%를 상회하고 있고, 2005년 현재 정부 예산에서 차지하는 비중은 4.0%(약 8조원)이다. GDP에서 차지하는 비중으로 보면, 2005년 기준 0.84%로서, 미국(1.07%), 프랑스(0.93%)보다는 낮지만 일본(0.71%), 독일(0.77%), 영국(0.72%) 보다는 큰 규모이다. 그러나 이러한 양적인 성장을 넘어 정부 R&D 투자를 질적으로 한 단계 도약시키기 위해서는 그간의 투자확대과정에서 나타난 문제점을 분석하고 미흡한 점을 지속적으로 개선할 필요가 있다. 주요 문제점으로 제기되고 있는 부분은 그간 정부 R&D 투자사업은 성과목표가 명확하게 제시되지 않았으며 따라서 이에 따른 체계적인 성과평가가 이루어지지 못하였다는 점이다. 단순한 사업의 관리차원이 아닌 투입 대비 성과를 체계적으로 분석하여 사업수행에 피드백하는 성과평가 문제에 본격적인 관심을 두어야 한다는 의견이 분분하였지만, 체계적인 평가라는 측면에선 별다른 진전을 이룩하지 못한 측면이 있다. 이에 따라 정부 R&D 투자의 타당성, 전반적인 지원효과 등에 대한 의문이 지속적으로 제기되고 있는 실정이다. 국가주도의 범부처적인 장기연구개발사업인 21세기 프론티어사업에 속하고 있는 「수자원의 지속적 확보기술개발 사업단」의 경우 또한, R&D 투자가 단순한 기술개발에 그치지 않고 각각의 기술과제들이 실용화되는 등 효율적으로 이루어지기 위해서는 그 기술이 지니고 있는 내재적 가치에 대한 정확한 평가와 더불어 기술개발의 단계별 성과평가가 무엇보다 중요하다고 할 수 있다.

국내 기술평가는 크게 연구비 배정 등 경영-행정적 인 목적을 가지고 행하여 온 평가와 연구개발진을 중심으로 연구대상 기술의 특성을 반영한 연구로 양분되어 왔다. 이로 인하여, 평가항목 선정이나 가중치 산정에 있어서 기술개발 당사자와 경영자 및 평가전문가 간의 기술평가에 대한 격차가 크게 존재하여 왔다. 이러한 격차를 줄이기 위해서는 기술적 측면과 경영적 측면이 함께 하는 학제간(interdisciplinary), 또는 기술-경제(Engineering-Economy) 평가 연구가 필요하다고 할 수 있다. 수자원 확보기술개발의 경우, 기술평가 등을 포함한 R&D 성과평가에 대한 논의는 찾아보기 힘든 실정이다. 그 결과 사회 현실적 요구를 개발기술 평가에 충분히 고려치 못한 채 정책이 수행될 수밖에 없었고 R&D 자원이 비효율적으로 배분되고 있다는 사회적 지적을 무시하기 어렵게 되었다. 따라서 국가의 한정된 연구개발자원을 효율적으로 투입관리하기 위해서는 우리나라의 실정에 적합한 수자원 확보기술개발사업의 가치평가모형을 시급히 개발하여 국가연구개발사업의 기획평가에 적용되어야 할 필요가 있다.

본 연구에서는 다기준의사결정방법의 대표적 기법인 계층분석법(AHP, Analytic Hierarchy Process)을 활용하여 「수자원의 지속적 확보기술개발 사업단」에서 연구개발 중인 수자원 확보기술개발사업에 대한 평가모형을 구축하여 활용방안을 제안하고자 한다. 본 연구에서는 정량적인 측면뿐만 아니라 정성적인 측면도 종합적으로 고려하여 기술개발사업평가의 객관성과 합리성을 확보토록 하고, 또한 이 사업을 통하여 개발된 기술들이 실용화 단계에 도달할 수 있도록 가이드라인을 제시하여 수자원 확보 기술개발이 효율적으로 수행되는데 기여하고자 한다.

2. 평가의 기본개념

2.1. 기술평가의 정의

기술평가는 국가의 경제정책이나 기업의 경영전략차원에서 과학기술을 긴요한 핵심요인으로 간주하고 지적 재산권, 기술력 또는 R&D 인력 및 조직, 연구 및 생산 시설, 기술제품 및 판매력, 기업화 능력 등의 기술 효과 이외의 사회적으로 바람직한 모습을 찾아보려는 사회구성원들의 관심이나 정책적 의지에서 시작되었다. 기술을 평가하는 방법은 매우 다양하며, 평가의 용도와 목적 등에 따라 적용기법이 달라질 수 있다. 기존에 제안된 기술평가 방법으로는 크게 기술등급평가와 기술가치평가로 나눌 수 있다. 기술등급평가는 기술투자의 사업화 가능성을 등급이나 백분율로 표시하는 것이고, 기술

가치 평가는 기술거래나 기술자산의 담보 가치 등을 위하여 개별기술의 가치를 화폐적으로 표시하는 방법으로서, 세부적으로는 소득접근법, 시장접근법, 비용접근법, 실물옵션접근법, 다기준의사결정법 등을 기초로 기술가치 평가 상황에 맞게 조정하여 사용하고 있는 실정이다 (한국기술거래소, 2002).

국내 기관들이 활용하고 있는 기술평가 방법은 주로 등급평가 모형으로 평가 대상 기술들 간의 우열을 판단하기 위한 정보를 제공하고 있다. 등급평가모형은 평점 모형, 프로파일 모형 및 경제성 지표모형 등이 있다. 평점 모형은 기술성의 각 평가모형에 평점을 부여하며 평가 항목 간 가중치를 적용하는 기법이며 프로파일 모형은 평가요소를 차트에 표시하여 해당기술의 장단점을 신속히 파악할 수 있는 장점이 있다. 또한 경제성 지표 모형은 기업화 성공확률, 기술적 성공확률, 시장성 등의 지표를 곱하여 수치로 표현하는 기법이다. 이 모형들은 평가 과정과 결과를 출력하는 방식에는 차이가 있으나 기술 관련 요인들을 열거하고 있는 점에서는 동일하다 (한국기술거래소, 2002).

2.2. 평가대상 기술

본 연구의 평가대상 기술인 수자원 확보기술은 수자원의 지속적 확보기술개발 사업을 통하여 연구 개발되고 있으며 과제가 종료되는 2011년, 현재 예상되고 있는 국가 물 부족 문제에서 벗어나고 개발된 기술을 실용화함으로써 물 관리 효율을 높이고 친환경적으로 신규수자원을 개발하여 30억 m³의 수자원을 확보하고 물 부족을 해소하는데 연구개발 목적을 두고 있다. 현재 통합수자원, 지표수, 지하수, 대체수자원 등의 4개 분야에서 기술이 개발되고 있으며, 기존 기술의 보완 또는 신기술의 개발을 통해 수자원을 확보하여 장래 예상되는 물 부족으로 인해 발생하게 될 경제·사회적 문제를 사전에 방지하는 것을 목표로 하고 있다. 수자원 확보를 위한 요소기술개발, 현장적용을 통한 기술의 효율성 증진, 통합시스템 개발 및 적용을 증진시켜 정부 및 지자체 수자원 확보사업에 기술을 적용함으로써 국가 물 부족을 극복하여 선진국 수준의 공공복지와 삶의 질을 구현함에 있어 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 정책적 의의는 크다고 볼 수 있다.

수자원의 지속적 확보기술개발 사업은 수자원의 안정적 확보기반 구축을 위한 요소·기반기술의 실용화 및 시스템화를 목표로 2001년부터 2011년까지 총 10년간 3단계로 진행되며, 2단계 분야별 연구개발내용 및 목표는 Table 1과 같다.

3. 연구방법론

3.1. 다기준의사결정방법론

다기준의사결정방법론은 평가에 필요한 여러 요소들에 대한 정보를 바탕으로 종합적 의사결정을 내리는 체계를 지니고 있기 때문에, 기술개발사업 평가에 있어서 화폐가치로 환산하기 어려운 경제적 측면과 기술적 측면 등을 포함한 포괄적 평가를 하기에 적합한 방법론이라 할 수 있다. 대표적인 다기준의사결정방법론으로는 다속성효용가치평가법(MAUT, Multi-Attribute Utility Theory), PROMETHEE(Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations), AHP 등이 있다. 민재형 등(2004)에서는 세 가지 방법의 기본 가정 및 공리 체계의 장단점을 비교하였다. MAUT는 조건부가치평가법과 다속성효용이론을 결합하여 가치를 평가하는 방법이며 PROMETHEE는 선호의 유출량과 유입량 개념을 이용하여 대안들의 순위순위를 도출하는 방법이다. 선호함수가 AHP에서는 평가자의 주관적 판단에 의하여 표현되는 반면, MAUT와 PROMETHEE에서는 수학적 함수형태로 표현된다. MAUT와 PROMETHEE는 사전 연구 및 의견수렴을 통하여 평가기준과 평가속성 별 가중치를 산정하고, AHP는 이원비교행렬에 기초한 아이겐벨류 방법을 이용하여 도출한다.

MAUT는 수학적으로 정교한 이론이 정립되어 있다는 장점을 지니고 있고, PROMETHEE는 대안들 간의 이원비교를 자동적으로 수행하여 대안의 수가 많거나 새로운 대안이 추가 삭제되어도 효율적으로 이원비교를 실시할 수 있다는 장점이 있다. AHP는 정량적 평가기준 뿐만 아니라 정성적 평가기준을 고려할 수 있다는 장점이 있는 반면, 비교대상의 수가 증가함에 따라 의사결정자의 평가횟수가 급증하고 새로운 대안의 추가 또는 삭제 시 분석을 다시 수행하여야 한다는 번거로움이 있다. 각각의 방법론들이 장단점을 지니고 있고 기본 가정과 공리체계가 다르기 때문에 어느 방법론이 더 우월하다고 판단하기 어렵다. 본 연구에서는 다양한 분야에 널리 적용되고 있고, 평가요인의 가중치를 의사결정자들의 합리적 판단에 근거하여 직접 유도하지 않고 이원비교를 통하여 산정하는 AHP를 이용하여 평가들을 구축하였다.

3.2. 계층분석법

계층분석법(Analytic Hierarchy Process, AHP)은 국내외 다양한 분야에서 대안선정 및 의사결정에 사용되어 왔는데 복잡한 평가기준을 계층화하여 단계별 요인

Table 1. Research Area of Sustainable Water Resources Research Center

Research area	Project list and objective
Integrated management of water resources	Development, utilization and technology transfer of operation system of integrated management of water resources
	<ul style="list-style-type: none"> · Technology for hydrologic data acquisition and monitoring · Technology for effective use of temporal and spatial data in a river basin · Water resources application of short- and long-term weather forecast system · Water resources policy for sustainable water resources development · Technology for integrated basin-wide water budget analysis and water resources planning · Development of real-time water resources management system
Surface water resources	Determination of the current surface water resources and development of relevant technologies
	<ul style="list-style-type: none"> · Technology for surface water resources investigation · Analysis and modeling for surface water hydrological components · Analysis and modeling of river flow and bed changes · Technology for sustainable dam development · Technology for sustainable river flow development
Groundwater resources	Evaluation and management of the capacity of the groundwater and development of relevant technologies
	<ul style="list-style-type: none"> · Technology for site characterization assessment and exploration method of groundwater resources · Groundwater flow analysis and modeling · Assessment of groundwater resources availability based on topographic and geologic characteristics · Technology for sustainable groundwater development and artificial recharge · Technology for pollution prevention protection and remediation of groundwater resources
Alternative water resources	Development of alternative water resources for the stable supply of the water resources
	<ul style="list-style-type: none"> · Development of water reuse technology · Technology for leakage control in water distribution and supply system · Technology for rainwater storage and utilization · Technology for highly-efficient and energy saving desalination system · Application for wastewater reclamation and reuse

들에 대한 쌍대비교(pair-wise comparison)를 통해 다양한 대안들에 대한 상대적 가중치를 나타낼 수 있다는 장점이 있다. Chen et al.(2004)은 타이완의 새 공업단지에 적합한 산업 선정을 위하여 AHP를 사용하였으며 Melon et al.(2006)은 교육혁신제도를 위해 대학교에서 진행되고 프로젝트를 평가하는데 있어서 AHP를 사용하였다. 국내 수자원 관련 분야에서의 경우, 한국개발연구원(2003)은 수자원(댐)부문사업의 예비타당성조사에서 평가항목 가중치 산정시 AHP를 적용시켜 평가자들의 의견을 종합하여 최종적인 의사결정에 도달할 수 있는 틀을 제시하였고, 이충성 등(2004)은 다목적댐 용수의 배분 방안 제안 연구에서 AHP를 사용하여 용도가 중치를 산정한 뒤 댐을 중심으로 한 용수배분 방안을 수립하기도 하였다. 수자원이라는 공공재적인 성격을 지닌 자원을 확보하는 기술의 평가를 위해서는 정량적

평가 외에 정성적인 측면에서의 평가가 포함되어야 한다. 따라서, 정량적인 평가기준 뿐만 아니라 정성적인 평가기준과 속성을 포함한 평가틀을 구축하면서 일관성이 검증된 전문가들의 의견을 종합할 수 있는 AHP를 수자원 확보기술 가치평가에 적용시켰다.

AHP는 1970년대 초, Thomas Satty에 의해 제안된 것으로 복잡한 의사결정과정을 간단하게 할 수 있도록 하는 기법이다(Saaty, 1980). AHP는 문제를 계층으로 구조화하여 상대적 중요도 혹은 선호도를 비율척도화하여 정량적인 형태의 결론을 얻을 수 있다는 점에서 유용성을 인정받고 있다. AHP의 분석은 각 계층의 항목 간 쌍대비교부터 시작된다. N개의 항목으로 이루어진 계층에서, 각 항목에 대하여 항목 i를 항목 j에 비하여 얼마나 더 선호하는지에 대하여 묻고, 그 결과를 a_{ij} 로 하여 비교 행렬 $A = (a_{ij})$ $I, j = 1, 2, \dots, n$ 을 얻을 수

있다. N개의 항목들 각각의 가중치를 w_i ($i = 1, 2, \dots, n$)라 할 때, 비교행렬 A의 원소 a_{ij} 는 항목 i와 항목 j의 두 항목 간 가중치 비율을 의미하고, Eq. (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$a_{ij} = \frac{w_i}{w_j} \quad (\text{for } i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

현실에서 어느 정도의 편차를 고려한 벡터 W를 구하는데 있어, 자연과학이나, 공학에서 널리 쓰이는 Eigenvector을 사용한다. Satty는 현실에서의 W를 구하는데 있어서 이를 행렬 A의 eigenvector로 해결할 수 있다고 제안하였다. 따라서 Eq. (2)의 유일한 해는 λ_{\max} 이며, 그에 대응하는 eigenvector W를 구할 수 있다.

$$\hat{A} \hat{W} = \lambda_{\max} \hat{W} \quad (2)$$

이와 같은 방법으로 얻는 결과에 대해서, 응답자들이 얼마나 일관된 사고를 하고 있는지를 평가하기 위하여 일관성 평가를 하게 된다. CI(consistency index : 일관성 지수)는 Eq. (3)과 같이 정의된다.

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

$CI \leq 0.1$ 정도이면 비교 행렬 A의 적합도는 양호하다고 말한다. 즉 이 비교행렬은 신뢰성이 있다고 말할 수 있다. 여기서 0.1이라는 수치는 경험적인 수치이다. CI는 응답자의 비교 행렬이 일관성이 있으면 작아지고, 일관성이 없으면 커지게 된다. CI에 의하여 A가 일관성이 있는지 아닌지를 판정할 수 있지만 n이 크게 되면, CI의 값도 커지게 되기 때문에 그대로 일관성의 판정에 이용하기에 어려운 점이 있다. 그래서 CI를 보완한 CR(Consistency Ratio)가 널리 이용되고 있다. CR은 CI를 Random Index(RI)로 나눈 값이다. RI는 각 요소의 값을 랜덤하게 주어서 발생하는 다수의 일대일 비교행렬 CI의 평균치이다. CR는 Eq. (4)와 같이 정의된다.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4)$$

CR이 10% 이하 정도면 일관성이 있다고 판단하여도 좋다고 알려져 있다.

AHP 분석 시, 집단의 평가치를 종합하는 방법은 크게 평가자들의 의견을 토의 또는 투표를 통하여 정한

뒤, 하나의 쌍대비교행렬을 만드는 그룹평가방법과 집단구성원이 각각 작성한 쌍대비교행렬을 수집하여 집단 전체의 평가치를 수치통합하여 가중치를 구하는 방법이 있다. 본 연구에서는 수치통합방법 중, 일반적으로 사용되고 있는 기하평균방법을 사용하였다. Aczel and Saaty(1983)에서 증명되었듯이, 기하평균은 행렬의 역수성을 유지시키는 유일한 방법이다. 따라서, 평가자가 작성한 쌍대비교행렬의 각 원소에 대하여 전체 평가자의 평가치들을 기하평균하여 통합하고, 이를 원소로 하는 단일 쌍대비교행렬을 구성하는 방법을 사용하였다.

4. 실증연구

본 연구는 계층분석법을 3단계로 나누어 적용시켰다. 첫 번째 단계에서는 문제 설정과 계층구조 설계를 하였고, 두 번째 단계에서는 Satty가 제안한 9점 척도를 사용하여 평가기준 및 평가속성별 쌍대비교설문을 실행하였으며, 세 번째 단계에서는 응답한 설문결과의 일관성을 검증하여 평가기준과 속성의 가중치를 산정하였다.

4.1. 계층구조의 설정

객관적이고 전문적인 평가시스템 구축을 위해서는 평가기준과 평가속성의 선정과 각각의 평가기준과 평가속성 별 가중치 산정이 매우 중요하다고 볼 수 있다. 또한, 수자원 확보기술의 경우, 수요자가 대부분 중앙정부와 지방자치단체이기 때문에 공공성의 성격을 지녔다고 볼 수 있으며, 이에 따라, 정량적인 평가기법 뿐만 아니라 정성적인 평가가 함께 실시되어야 한다. 수자원 확보기술개발사업에 적합한 정량적 평가와 정성적 평가를 모두 가능하게 하는 평가기준과 평가속성들을 선정하기 위하여 먼저 국내·외 문헌조사를 바탕으로 예비 평가기준과 속성을 선정하였다. 선정된 평가기준과 속성들은 2차례에 걸쳐 정부기관, 연구소, 학교, 민간기업 등에 종사중인 12명의 수자원 전문가의 자문과 검토를 거쳐 취사선택되었다. 자문대상자를 사회 각 분야에 속해있으며 수자원 관련 분야에 대하여 충분한 전문지식을 지니고 있는 집단으로 선택하면서 평가들의 객관성과 전문성을 높이는데 기하였다. 평가들은 Table 2와 같이 4개의 평가기준과 26개의 평가속성들로 이루어진 2계층으로 구성되었다. 계층의 설계 시 같은 계층의 요소들 끼리는 독립성을 지니고, 한 계층의 요소들은 인접한 상위 계층의 요소들에 대해서 종속성을 가져야 하는데, 이는 평가기준과 평가속성들의 설명을 명확히 제시함으로써 각각 독립성과 종속성이 존재하는 것으로 전제하였다.

Table 2. Evaluation Criteria and Attributes for Water Resources Technology

Technological aspect	Market aspect	Commercialization aspect	Social importance
1. Advancement of technology 2. Reliability of technology 3. Commercialization potential 4. Infrastructure for technology application 5. Standardization appropriateness 6. Intellectual property 7. Spillover effects	1. Political/social factors 2. Ecological/environmental factors 3. Product/industry characteristics 4. Market competitiveness 5. Price competitiveness	1. Capability of technology developers 2. Capability of production 3. Stability of financial structure 4. Cost reduction effect for water resources security 5. Profits 6. Cost for commercialization	1. Industrial spillover effects 2. Knowledge spillover effects /human resources cultivation 3. Employment effects 4. Change in social awareness 5. Security in water resources supply 6. Contribution to regional growth 7. Base technology effects 8. Environmental effects

4.2. 설문조사 및 일관성 검증

AHP는 집단 구성원들의 의견을 종합하여 최종적인 의사결정에 도달하도록 도와주는 방법이기 때문에 분석 결과는 의사결정 집단을 어떤 구성원으로 구성 하나에 의해 직접적으로 영향을 받는다. 따라서, 수자원과 관련된 다양한 분야의 전문가 의견을 수렴하기 위하여 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 과제를 추진 중인 기술개발자들과 연구기관, 교육기관, 민간기업 등에 종사 중인 수자원 전문가들이 등록되어 있는 한국수자원학회 분과 위원회, 건설교통부와 지방청 하천국의 공무원 등을 포함한 총 387명의 수자원 관련 전문가를 대상으로 쌍대 비교 설문조사를 실시하였다. 이 중 156명이 Table 3과 같은 9점 척도를 이용한 쌍대비교 설문에 응답하였으며, 일관성 검증(CR=10%)을 통과한 45명의 응답자를 대상으로 평가기준 및 평가속성 별 가중치를 산정하였다. 최종분석 자료에 사용된 응답은 교육기관 17명, 정부기관 8명, 연구소 12명, 민간기업 8명이었다.

Table 3. Pairwise Comparison Scale for AHP

Rating	Verbal judgement
1	A is equal to B
2	A is barely better than B
3	A is weakly better than B
4	A is moderately better than B
5	A is definitely better than B
6	A is strongly better than B
7	A is very strongly better than B
8	A is critically better than B
9	A is absolutely better than B

5. 결과분석

우리나라 수자원 관련 전문가로 구성된 집단은

Table 4와 같이 수자원 확보기술개발사업의 평가 시 「기술요인」, 「시장요인」, 「사업요인」, 「사회적 요인」 등의 네 가지 평가 기준 가운데 「기술요인」을 가장 중요하게 생각하였다. 그 다음으로 「사회적 요인」, 「시장요인」, 「사업요인」 순으로 중요하게 생각하였다. 평가기준의 중요도 순위에서도 볼 수 있듯이, 수자원 확보기술은 공공재적 성격을 지닌 수자원의 특성과 수자원 확보 기술의 예상수요처가 대부분 중앙정부와 지방자치단체라는 기술의 특수성 때문에 「사업요인」이 상대적으로 덜 중요시되고 「사회적 요인」과 같은 정성적인 평가가 중요시 되어야 함을 알 수 있다. 세부 집단 별 결과분석으로 현재 수자원의 지속적 확보기술개발 사업단에서 기술을 개발 중인 기술개발자들과 그 외 수자원 전문가들은 평가 시 어떤 평가기준에 높은 가중치를 두고 있는지를 살펴보았다. 두 집단 모두 「기술요인」, 「시장요인」, 「사업요인」, 「사회적 요인」 순으로 평가기준의 중요도를 나타냈으나, 전문가 집단이 기술개발자 집단보다 「시장요인」과 「사업요인」에 더 높은 가중치를 두고 있음을 알 수 있었다.

또한, 설문 응답자가 소속되어 있는 기관별 평가기준 가중치를 살펴보기 위하여 응답된 설문을 정부기관, 연구소, 교육기관, 민간기업 별로 나누어 분석을 실시해 보았다. 분석 결과, Table 4와 같이 각 소속 집단의 특성을 잘 반영하는 중요도 순위가 나타남을 알 수 있다. 정부기관 소속 전문가들은 4개의 평가기준 중에서 「사회적 요인」에 「기술요인」보다 더 높은 가중치를 부여하였고, 민간 기업 소속 전문가들은 「기술요인」 외에 중요한 평가기준으로 「사회적 요인」보다 「사업요인」과 「시장요인」을 택하였다. 연구소와 교육기관 소속 전문가들은 「기술요인」과 「사회적 요인」에 높은 중요도를 둔 반면, 「시장요인」과 「사업요인」의 중요도는 낮게 부여하였다.

Table 4. Weights of Evaluation Criteria

Criteria	Total	Technology developers	Experts	Government	Research center	University	Industry
Technological aspect	0.321	0.287	0.332	0.211	0.292	0.375	0.370
Market aspect	0.198	0.230	0.187	0.133	0.263	0.183	0.192
Commercialization aspect	0.198	0.181	0.204	0.215	0.161	0.180	0.273
Social importance	0.283	0.302	0.277	0.441	0.284	0.262	0.165

Table 5에서 기관별 평가속성 가중치를 살펴 볼 때, 정부기관은 수자원 공급의 환경개선 효과(0.0980), 안정성 확보 효과(0.0927), 기술의 신뢰도(0.0601) 등에 높은 가중치를 부여하고, 기술간 경쟁의 정도(0.0193), 기술의 가격경쟁력(0.0179), 상품/산업 특성(0.0168) 등에 낮은 가중치를 부여하였다. 연구소 종사자들은 수자원 공급의 안정성 확보 효과(0.0782), 기술의 가격경쟁력(0.0683), 기술의 신뢰도(0.0621) 등을 중시여기고, 지적재산권 확보 가능성(0.0170), 기술개발자의 재무구조의 안정성(0.0157), 기술개발자의 제품생산능력(0.0154) 등은 기술평가 시 덜 중요하다고 하였다. 교육기관에서는

기술의 신뢰도(0.0901), 수자원 공급의 안정성 확보 효과(0.0717), 사업화 가능성(0.0692) 등에 높은 가중치를, 타 산업으로의 파급효과(0.0201), 사회적 인식의 전환 효과(0.0153), 기술개발자의 재무구조의 안정성(0.0137) 등에 낮은 가중치를 부여하였다. 민간기업에서는 사업화 가능성(0.0885), 개발비용을 고려한 수익성(0.0744), 기술의 신뢰도(0.0683) 등에 중요도를 둔 반면, 사회적 인식의 전환 효과(0.0165), 타 산업으로의 파급효과(0.0144), 고용효과(0.0117) 등은 기술평가 시 중요한 속성으로 고려하지 않았다. 이렇듯 각 집단의 특성에 따라 평가속성 별 가중치가 현저히 다르게 나타남을 볼 수

Table 5. Weights of Evaluation Attributes

Criteria	Attributes	Total	Government	Research Center	University	Industry
Technological aspect	Advancement of technology	0.0532	0.0207	0.0601	0.0668	0.0608
	Reliability of technology	0.0739	0.0601	0.0621	0.0901	0.0683
	Commercialization potential	0.0554	0.0279	0.0453	0.0692	0.0885
	Infrastructure for technology application	0.0463	0.0345	0.0465	0.0444	0.0531
	Standardization appropriateness	0.0314	0.0220	0.0288	0.0359	0.0366
	Intellectual property	0.0255	0.0202	0.0170	0.0305	0.0307
Market aspect	Spillover effects	0.0351	0.0253	0.0324	0.0381	0.0320
	Political/social factors	0.0375	0.0370	0.0563	0.0309	0.0215
	Ecological/environmental factors	0.0516	0.0420	0.0535	0.0571	0.0332
	Product/industry characteristics	0.0309	0.0168	0.0478	0.0257	0.0336
	Market competitiveness	0.0324	0.0193	0.0374	0.0313	0.0358
Commercialization aspect	Price competitiveness	0.0454	0.0179	0.0683	0.0385	0.0676
	Capability of technology developers	0.0332	0.0382	0.0221	0.0328	0.0462
	Capability of production	0.0199	0.0215	0.0154	0.0202	0.0231
	Stability of financial structure	0.0172	0.0213	0.0157	0.0137	0.0206
	Cost reduction in water resources security	0.0461	0.0476	0.0400	0.0408	0.0653
	Profits	0.0471	0.0457	0.0415	0.0409	0.0744
Social importance	Cost for commercialization	0.0345	0.0410	0.0263	0.0314	0.0432
	Industrial spillover effects	0.0235	0.0371	0.0235	0.0201	0.0144
	Knowledge / human resources effects	0.0260	0.0386	0.0234	0.0251	0.0166
	Employment effects	0.0226	0.0320	0.0237	0.0216	0.0117
	Changes in social awareness	0.0229	0.0455	0.0223	0.0153	0.0165
	Security in water resources supply	0.0701	0.0927	0.0782	0.0717	0.0376
	Contribution to regional growth	0.0290	0.0581	0.0229	0.0269	0.0171
	Base technology effects	0.0405	0.0390	0.0517	0.0347	0.0259
Environmental effects	0.0489	0.0980	0.0379	0.0461	0.0259	

있으며, 이는 평가자의 구성이 다양한 분야에 골고루 분포되어야 객관적인 평가가 이루어질 수 있음을 알 수 있다.

전체 집단의 의견 수렴 시, 기술의 신뢰도(0.0739), 수자원 공급의 안정성 확보 효과(0.0701), 사업화 가능성(0.0554) 등이 중요도 순위에서 상위를 이루고 있고, 고용 효과(0.0226), 기술개발자의 제품생산능력(0.0199), 기술개발자의 재무구조의 안정성(0.0172) 등은 낮은 가중치를 나타냈다. 이와 같은 결과는 수자원 확보기술 개발 시 개발목표에의 적합성과 기술적 우수성을 중시여겨야 함을 물론, 개발된 기술이 사업화가 될 수 있도록 기술개발자들이 노력하여야 함을 보여준다. 반면에, 예상수요처가 대부분 중앙정부와 지방자치단체이며 국가 R&D로 개발 중인 기술들이기에 기술개발자들의 재무능력과 고용효과는 기술평가 시 중요하지 않은 것으로 나타났다.

평가기준에 따른 평가속성의 상대적 가중치를 살펴보면, 「기술요인」에서는 기술의 신뢰도가 가장 중요한 평가속성으로 나타났으며 기술개발 시 얼마나 타 기술보다 창의적이고 뛰어나는지의 우수성보다 기술이 얼마나 안전하게 여러 환경 하에서 계속적으로 성능을 발휘할 수 있는지가 더 중요함을 알 수 있다. 「시장요인」에서는 다섯 개의 평가속성 중 생태·환경적 변화에 대한 민감성요인이 가장 중요한 평가속성으로 도출되었으며 수자원확보기술이 생태·환경에 직접적으로 영향을 끼칠 수 있으므로 기술개발자들의 민감성을 요구한다고 볼 수 있다. 「사업요인」에서는 기술개발로 인한 수자원확보 원가절감 효과와 개발비용을 고려한 수익성 요인이 높은 가중치를 얻어 비용절감과 수익성이 중요시 되고 있음을 알 수 있다. 「사회적요인」에서는 수자원공급의 안정성 확보효과가 가장 중요한 평가속성으로 나타났으며, 이는 각 개별 기술개발이 얼마만큼 사업 목적에 충실하게 수행되고 있는지가 중요함을 알 수 있다.

6. 평가시스템의 적용

위와 같이 산정된 평가기준 및 평가속성 가중치를 통하여 기술간 상대적 평가가 가능한 평가틀을 만들었으며, 5점 척도 평가를 통하여 기술평가(technology evaluation)를 시도하였다. 본 연구의 대상기술인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단에서 연구 개발 중인 기술들은 총 22개로 쌍대비교 시 그 횟수가 기하급수적으로 증가하게 되어 쌍대비교가 어렵게 되므로, 기술평가에는 절대측정방식을 취하였다. 각 기술을 평가기준과 평가속성에 따라 5점 척도를 사용하여 평가를 하였다. 평가의 신뢰도를 높이기 위하여 한국건설교통기술평가원 등의 전문기관의 자문을 통하여 실행하였으며, 평가결과를 기술평가 틀의 가중치와 조합하여 최종 평가결과를 산출하였다. Table 6에 그 예시로 2개의 기술에 대한 평가를 평가기준을 중심으로 종합하여 보았다. 각 각의 기술별로 5점 척도와 평가기준, 평가속성 별 가중치를 조합하여 내린 최종 평가 결과, 2개 기술의 가치평가 점수는 각각 3.2(63)와 2.3(46)점이었다. 가중치를 고려하여 Table 6과 같이 각 평가기준의 기준점수를 산출하고 선정된 기술들이 각 각의 평가기준에 어느 정도의 점수를 받았는지를 살펴보았다. 기술I은 4개의 평가기준 중 사업요인과 사회적 요인에서 비교적 높은 점수를 받은 반면, 시장요인에서는 낮은 점수를 받았다. 따라서 기술I은 기술 개발 시 시장요인에 더 중점을 두어 기술개발을 함이 바람직하다고 볼 수 있다. 기술II의 경우, 모든 평가기준에서 기술I보다 낮은 점수를 받았다. 특히 4개의 평가기준 중에서 가장 중요시 고려되어야 할 기술요인 부문에서 가장 낮은 점수를 받았음을 알 수 있다. 이러한 적용 과정과 결과에서 볼 수 있듯이, 본 연구에서 구축된 평가 틀은 연구 개발자들이 기술개발 시 보완하여야 할 부분을 명백히 제시하여 줄 뿐만 아니라, 수자원의 지속적 확보기술개발사업이 진행되는

Table 6. Technology Evaluation Results

Criteria	Weights	Reference point(A)	Weighted Score(B)		B/A *100	
			Technology I	Technology II	Technology I	Technology II
Technological aspect	0.351	35	21	12	60%	34%
Market aspect	0.211	21	10	10	48%	48%
Commercialization aspect	0.190	19	14	8	74%	42%
Social Importance	0.248	25	18	16	72%	64%
Total	1	100	63	46		

기간 동안 체계적인 성과관리를 할 수 있는 가이드라인을 제공한다.

7. 결 론

본 연구에서는 수자원 확보기술개발사업의 체계적이고 포괄적인 평가를 위해 AHP를 적용하여 평가모형을 구축하였다. 기존의 평가 방법론들은 상용화가 이미 이루어져 있거나, 민간기업에서 개발되고 있는 기술들을 주로 대상으로 하는 방법론들로서 정량적인 평가가 대부분이며 주로 경영적 측면이 강조된 반면 기술개발자들이 중시하는 R&D 측면에서의 가치를 충분히 반영하지 못하는 한계가 있었다. 또한 정부의 R&D투자로 연구개발 중인 기술에 대한 평가와 관련하여서는 연구 자체가 희박하였으며 따라서 여기에 적용할 적당한 평가모형도 제대로 정립되지 못한 실정이었다. 이러한 점에 비취볼 때, 본 연구에서 제시한 평가모형은 향후 정부 R&D 투자에 의해 연구 개발되는 기술평가에 유용하게 쓰일 수 있을 뿐만 아니라 아직 상용화되지 않은 기술들에 대한 평가에 있어서도 충분히 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구결과, 국가 R&D 투자에 의해 연구 개발되고 있는 수자원 확보기술개발사업 평가 시, 기술요인 뿐만 아니라 타 산업으로의 파급효과, 환경개선 효과, 수자원 공급의 안정성 확보 효과 등과 같은 사회적 요인이 사업요인이나 시장요인보다 중요하게 고려되어야 함을 알 수 있다. 이는 수자원 확보기술이 공공재적 성격을 지닌 자원을 확보하는 기술로써 기술수요처가 대부분 중앙정부, 지방자치단체와 수자원공사로 예상되기 때문이라고 볼 수 있다. 또한, 평가기준과 평가속성의 가중치를 집단별로 나누어 분석하였을 때, 가중치 산정 결과가 각 집단의 특성에 따라 달리 나타났으며, 이는 평가자의 구성이 다양한 분야에 걸쳐 골고루 분포되어야 객관적인 평가모형을 구축할 수 있음을 나타낸다.

본 연구에서 사용한 AHP 방법을 통해 공공재적 성격을 지닌 수자원 확보기술개발사업 평가 시 정량적 평가뿐만 아니라 정성적인 측면에서의 평가를 포함시킬 수 있었으며, 교육기관, 정부기관, 연구소, 민간기업 등에서 중시하는 다양한 분야의 수자원 전문가들의 의견을 반영시킬 수 있어 평가모형을 보다 더 객관적이고 전문적으로 구축할 수 있었다. 본 연구에서 제시하는 평가모형은 평가 결과를 화폐단위로 나타낼 수 없다는 한계점은 있지만, 각 기술별로 평가모형에 평점을 부여

하여 평가 항목 간 가중치와 결합시키는 평점 모형을 적용시켜 기술들 간의 상대평가를 통하여 우열을 가릴 수 있고, 또한 연구 개발 기간 중 수차례의 평가를 통하여 기술개발이 바른 방향으로 이루어지고 있는지를 점검할 수 있는 가이드라인으로 활용 될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호 1-10-2)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- 민재형, 송영민 (2004). "PROMETHEE를 이용한 다기준의사결정." **서강경영논총**, 서강대학교 경영학연구원, Vol. 14, No. 2, pp. 109-127.
- 이충성, 최승안, 심명필, 정관수 (2004). "가중치산정을 통한 다목적دم 용수의 배분 방안." **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제38권 제8호, pp. 663-674.
- 한국개발연구원 (2003). **수자원(دم)부문사업의 예비타당성조사 표준지침 연구 (제3판)**. 한국개발연구원, pp. 199-213.
- 한국기술거래소 (2002). **업종별 기술가치평가 기본모델 구축 사업**. 한국기술거래소.
- Aczel, J., and Saaty, T.L. (1983). "Procedures for synthesizing ratio judgements." *Journal of Mathematical Psychology*, Vol. 27, No. 1, pp. 99-102.
- Chen, C. and Huang, C. (2004). "A multiple criteria evaluation of high-tech industries for the science-based industrial park in Taiwan." *Information & Management*, Vol. 41, pp. 839-851.
- Melon, M.G., Beltran, P.A., and Cruz, M.C. (2006). "An AHP-based evaluation procedure for Innovative Educational Projects: A face-to-face vs. computer-mediated case study." *Omega*, in press.
- Satty, T.L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York.

(논문번호:06-114/접수:2006.12.15/심사완료:2007.09.06)

