韓國水資源學會論文集
第42卷 第12號 · 2009年 12月
pp. 1029~1038

DOI: 10.3741/JKWRA.2009.42.12.1029

공간 다기준의사결정을 활용한 소수력 개발의 우선순위 결정

Priority Decision of Small Hydropower Development using Spatial Multi-Criteria Decision Making

김 길 호* / 이 충 성** / 여 규 동*** / 심 명 필****

Kim, Gil Ho / Yi, Choong Sung / Yeo, Gyu Dong / Shim, Myung Pil

Abstract

Recently, it is expected that small hydropower (SHP) could potentially provide sufficient amounts of alternative energy in Korea where there is an abundance of potential sites and where social efforts are being made to reduce the emissions of green house gases. In the past, the resources survey for SHP development has been carried out using onsite surveys and paper maps, which incurred a great deal of time and cost. Furthermore, the tools for decision making such as determining development priorities or evaluating feasibility have been considered only economic aspect and focused on the performance characteristics of power generation. However, as the concept of sustainable development has been being advanced in recent years, especially focused on human-social, environmental and ecological in addition to economical sector; the consideration of these multiple criteria has become essential for sustainable SHP development. This study aims to propose the spatial multi-criteria decision making (MCDM) methodology for determining priorities among a number of locations on the planning stage of SHP development using AHP and GIS. The proposed methodology is applied for determining development priorities among the SHP locations in Cho River basin and this study presents the detailed spatial information data and the results of development priorities. As a fundamental work, this study will be beneficial to the future activation of SHP development and will help the decision making in evaluating the feasibility of SHP development.

keywords : small hydropower, spatial MCDM, AHP, GIS, priority

요 지

향후 소수력 자원은 풍부한 부존량과 더불어 사회적 온실가스 감축 노력을 바탕으로 대체에너지로서 성장잠재력이 클 것으로 전망된다. 과거에 소수력 개발을 위한 자원조사는 많은 시간과 비용이 드는 현장조사나 종이지도에 의존해 왔다. 그리고 타당성평가, 개발 우선순위 결정과 같은 의사결정시 발전 성능특성과 경제성에만 치중해 왔다. 그러나 최근 들어 경제적인 부문 뿐만 아니라 인문·사회, 환경, 생태적으로 지속가능한 개발이 더욱 강조되면서 이러한 다기준의 고려는 지속가능한 소수력 개발을 위하여 필수적인 것이 되었다. 따라서 본 연구에서는 계층화분석

* 인하대학교 토목공학과 박사과정
Ph.D. Candidate, Dept. of Civ. Engrg., Inha Univ., Incheon 402-751, Korea
** 교신저자, 인하대학교 수자원시스템연구소 선임연구원
Corresponding Author, Senior Researcher, Inst. of Water Resources System, Inha Univ., Incheon 402-751, Korea
(e-mail: sung@inha.ac.kr)
*** 인하대학교 토목공학과 박사과정
Ph.D. Candidate, Dept. of Civ. Engrg., Inha Univ., Incheon 402-751, Korea
**** 인하대학교 사회기반시스템공학부 교수
Prof., Dept. of Civ. Engrg., Inha Univ., Incheon 402-751, Korea

과정과 GIS를 이용하여 소수력 개발의 계획단계에서 다수의 소수력 입지들 간의 우선순위를 결정하는 공간 다기준 의사결정 방법론을 제시하였다. 제시된 방법론은 초강유역 소수력 입지들 간의 개발 우선순위 결정에 적용하였으며, 분석에 사용된 공간정보 자료와 개발 우선순위 결과를 논문에 수록하였다. 본 연구는 향후 소수력 개발 활성화에 대비한 기초연구로서 의의가 있으며, 소수력 개발의 타당성을 평가하는 의사결정에서 활용도가 높을 것으로 기대된다.

핵심용어 : 소수력, 공간 다기준의사결정, 계층화분석과정, 지리정보시스템, 우선순위

1. 서 론

신재생에너지 가운데 하나인 소수력은 국내의 풍부한 부존량을 바탕으로 과거로부터 관심을 받아왔으나, 대수력에 비해 상대적으로 낮은 경제성과 인문·사회적, 환경·생태적 영향 등의 이유로 개발이 활성화되지는 못하였다. 그러나 최근 기후변화협약이나 교토의정서 채택 등으로 온실가스 감축문제가 국제적인 이슈가 되고, 화석연료의 고갈에 따라 대체에너지원이 시급해짐에 따라 국제적으로 소수력에 대한 관심이 점차 증대되고 있다.

과거 소수력을 비롯한 수자원 사업에서는 여러 대안의 평가, 사업의 시행여부 결정과 같은 문제의 의사결정 수단으로서 경제적 타당성 평가에만 치중해 왔다. 그러나 국민의 소득수준이 높아지고 사회·환경적 문제에 대한 관심이 증대되면서부터 경제적 측면 뿐만 아니라, 인문·사회, 환경, 생태적 가치에 대한 중요성이 높아지게 되었고, 의사결정시 이와 같은 부문에 대한 고려는 지속가능한 개발을 위해 필수적인 요소가 되었다. 소수력 발전 또한 지속가능한 개발이 되기 위해서는 경제성 뿐만 아니라 사업에 영향을 미치는 다양한 요소를 함께 고려하는 의사결정을 수행하여야 한다. 현재까지는 여러 문헌에서 소수력 자원 평가시 지점별로 경제성만 제시하고 있어 개발주체의 의사결정에 폭넓은 정보를 제공하지 못하고 있다. 이처럼 다양한 가치체계를 포함하고 있는 문제들을 해결하기 위해서는 다기준의사결정(MCDM: Multi-Criteria Decision Making) 분석이 필수적이다. 계층화분석과정(AHP: Analytic Hierarchy Process)은 이러한 문제를 해결하기 위해 제안된 대표적인 기법으로 오늘날 많이 사용되는 기법중 하나이다.

국내에서의 본격적인 소수력 자원평가는 「소수력 발전 입지 조사」(과학기술처, 1974)에서 시작되었는데, 두 차례 전국규모의 현지답사와 항공조사 등을 통해 총 3,000여개의 입지를 선정한 바 있다. 1990년대 초반까지 소수력 자원조사에 대한 연구(과학기술처, 1985; 한국동력자원연구소, 1983, 1984, 1989, 1990; 한국에너지기술연구소, 1992)가 다수 수행되어 개발지점의 경제성을 평가한 바 있으나, 그 이후에는 전국적인 소수력 자원평가가 이루어지고 있지 않다. 한편, 이충성 등(2007)은 소수력 개발 자원조사 과정에서 채택한 몇몇 기준을 분석하여 입지분석에 적용한 사례는 있으나, 제안된 입지들 간의 개발 우선순위 결정을 위해 공간 의사결정기법을 활용한 사례는 많지 않은 것으로 나타났다.

최근에는 복잡한 공간정보를 종합적이고 체계적으로 수집, 저장, 검색 및 분석할 수 있는 지리정보체계(GIS)가 소수력 개발의 입지분석에 활용되면서 과거와 달리 기초조사 단계에서도 정밀한 분석을 가능하게 하고 있다. Gismalla and Bruen (1996)은 개발도상국의 소수력 개발에서 GIS 활용의 효율성을 강조한 바 있으며, Kaijuka (2007)는 소수력 계획시 GIS를 이용하여 전원지역의 전력수요를 예측하고 건설 우선순위 및 투자규모를 분석하였다. 소수력 개발에도 지속가능성이 강조되면서 환경에 영향을 미치는 인자들의 GIS 자료를 분석하여 소수력 입지를 탐색하는 연구도 수행되었다 (Baban and Wan-Yusof, 2003; Tanutpongpalin and Chaisomphob, 2004). 또한, RS자료에 의해 수집된 공간정보를 GIS에 의해 질의, 관리 및 분석하는 소수력 개발 입지분석 체계도 연구된 바 있다(Dudhani *et al.*, 2006a, 2006b; Saraf and Kumar, 2006).

본 연구의 목적은 소수력 개발시 제안된 입지들 간의 우선순위 도출을 위하여 절차적으로 간편하고, 일관성을 유지하며 객관화된 공간 다기준의사결정 방법론을 제시하는 것이다. 이를 위해 경제성을 비롯한 6개의 세부 평가기준을 선정하였고, GIS와 AHP기법을 이용한 공간 다기준의사결정 방법이 개발 우선순위 도출 과정에서 어떻게 접목되어 활용될 수 있는지 검증하고자 한다.

2. 계층화분석과정(AHP)

계층화분석과정이란 의사결정의 목표, 또는 평가기준이 다수이며 복합적인 경우, 대안들의 체계적인 평가를

Fig. 1. Flowchart of AHP

지원하기 위해 의사결정의 전 과정을 다수의 계층(level)으로 나눈 후 이를 단계별로 분석·평가함으로써 최종적인 의사결정에 이르는 것을 지원하는 다속성의사결정(MADM: Multi-Attribute Decision Making) 중 대표적인 기법이다. 이러한 AHP 기법은 Saaty (1980)에 의해 개발된 후, 그동안 수자원을 비롯한 많은 분야에서 의사결정과정의 도구로서 활용되어 왔다. AHP의 일반적인 분석과정은 Fig. 1과 같다.

의사결정자가 한 수준에서 n개의 비교항목에 대해 ${}_nC_2$회의 쌍대비교(pairwise comparison)를 수행하면 비교행렬(comparison matrix) A가 만들어지며 A는 주대각선의 원소값이 모두 1이 되는 역수행렬(reciprocal matrix)을 이룬다. 그러나 계층이나 속성이 늘어날수록 많은 양의 쌍대비교를 수행하여야 하는 문제점이 있어 최근에는 대안들에 서수적 순위를 부여하는 방식인 ROC (Rank Order Centroid)기법을 활용하여 쌍대비교 횟수를 감소시키는 방식이 많이 사용되고 있다. 비교행렬을 종합하여 가중치를 부여하고 가산하기 위해서는 비교행렬 A의 최대고유치(maximum eigenvalue)에 대응하는 주고유벡터(dominant eigenvector)의 요소를 가중치로 이용하는 고유벡터법(eigenvector method)이 사용되며 기본식은 Eq. 1과 같다.

$$A\vec{u} = \lambda_{\max}\vec{u} \tag{1}$$

여기서, $\lambda_{\max}$는 최대고유치이며 이때의 고유벡터 $\vec{u} = (u_1, u_2, \cdots, u_n)$를 주고유벡터라고 한다. 고유벡터법은 판단의 불일치성을 측정하는 수단이 되기도 한다. Saaty (1980)에 의하면 Eq. 2 및 Eq. 3과 같은 일관성지수(CI: Consistency Index)와 일관성비율(CR: Consistency Ratio)을 구함으로써 일관성검정(consistency test)을 할 수 있으며, CR이 0.2 이하일 경우 용납할 수 있는 수준의 일관성을 구비한 것으로 판단한다.

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

$$\mathrm{CR} = \mathrm{CI}/\mathrm{RI} \tag{3}$$

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

3. 소수력 개발 우선순위 결정 방안

3.1 계층구조의 설계

AHP 기법을 통해 의사결정문제를 해결하고자 할 때 일반적으로 계층구조의 설계와 평가, 두 가지 단계를 거치게 된다. 우선 Fig. 2와 같이 소수력 개발 우선순위,

Fig. 2. Design of Hierarchy for SHP Development

즉 종합적인 타당성을 평가하기 위한 AHP 계층구조를 설계하였다. 계층구조에서 제1계층은 기술·경제성(technical-economic analysis)과 사회·환경성(social-environment analysis)으로 구성하였고, 제1계층의 하위 계층으로 기술·경제성은 경제적 효율성(economic efficiency)과 도로 접근성(road accessibility)으로, 사회·환경성은 분쟁가능성(dispute potential)과 지속가능성(sustainability)으로 구분하였다. 제2계층의 평가기준 가운데 일부는 다시 하위 평가기준으로 세분하였다. 분쟁가능성은 주거현황(residential status)과 농업현황(agricultural status)으로, 지속가능성은 환경적 지속가능성(environmental sustainability), 사회적 지속가능성(social sustainabilty)으로 구분하였다.

3.2 평가기준

위에서 언급한 각각의 평가기준의 정도를 반영하는 속성값 산정시 연구자나 설계자의 주관적 판단으로 평가하는 오류를 방지하고 현장에 직접 조사할 필요없이 GIS 상에서 평가할 수 있는 방안을 모색하였다.

(1) 경제적 효율성

경제적 측면에서 개발사업의 타당성을 평가하기 위하여 현 시점으로 할인된 총편익과 총비용의 비를 나타내는 편익·비용비(B/C: Benefit- Cost ratio)를 사용하였다. 이러한 편익·비용비는 본 연구에서 다루고 있는 분석과정 이전에 수행된 경제성분석 결과를 참고하였다.

(2) 도로 접근성

개발 지점과 기존도로와의 접근성이 높다는 것은 개발에 따른 공사비를 절감할 수 있고, 향후 운영상의 관리 및 유지보수의 효율성을 가져올 수 있다는 것을 의미한다. 즉, 도로 접근성의 불량은 기타 부수적인 개발비의 지출 가능성이 있고 개발상의 장애요소가 많을 수 있다. 이때 접근거리는 지점과 기존도로와의 최단거리(㎞)로 설정하였고, 평가시 국립지리원 출처인 1:5000 수치지형도상에서 도로 관련 레이어(지방도, 특별시도·광역시도, 시도, 군도, 면·리간도로, 부지안도로, 소로)를 추출한 주제도(도로망도)를 활용하였다.

(3) 농업현황

소수력 개발은 주변 지역에 농업을 비롯한 여러 산업에 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 특히, 수로식 소수력의 경우, 취수 지점과 방류 지점과의 구간에 위치한 일부 산업에 부정적인 영향을 야기할 수 있으며, 수리권(water right)을 관행적으로 행사하였던 이들과의 갈등은 피할 수 없을 것이다. 따라서 본 연구에서는 의사결정 단계에서 소수력 개발이 위치하는 지점 주변에서의 용수사용에 민감한 논작물의 분포를 검토하고자 하였다. 이를 위해, 중분류 토지피복도(축척: 1/25000)를 이용하여 지점에서 반경 1㎞ 내 논지역(code: 210)이 차지하는 논면적비(논면적/총면적×100 %)를 구하였다. 여기서, 총 버퍼면적은 소수력 개발이 미치는 영향거리로 결정한 반경 1㎞ 내의 지역이고, 이는 국내 개발된 수로식 소수력의 수로길이가 대부분 1㎞ 이하인 것을 고려하여 반영하였다(한국수자원공사, 2007).

(4) 주거현황

국내에서 개발되어 운영 중인 소수력발전소에서는 수리·수문학적 또는 환경적 영향 등으로 인해 지역주민 또는 지자체와의 갈등사례를 어렵지 않게 찾을 수 있다. 이러한 갈등이 심화되면 분쟁으로 발전하기도 하고 법적 소송으로까지 이어져 발전소 개발 혹은 운영에 차질이 생길 수 있다. 그러므로 소수력 개발이 이루어지는 지점은 되도록 인구와의 고립지역이고 개발로 인해 지역사회에 미치는 부정적 영향을 최소화하는 방향으로 검토되어야 바람직할 것이다. 이를 위해 지점이 위치하고 있는 행정구역(읍면동)을 파악하고 해당 지역의 통계자료를 이용한 인구밀도(명/㎢)를 이용하였다. 이때, 지역적 편중을 고려하기 위해 지점에서 반경 1 km 내에 포함되는 각각의 행정구역별 인구밀도를 행정구역 면적비를 반영한 종합 인구밀도(명/㎢)를 고려하였다. 즉, 여기서의 종합 인구밀도란 반경 1km의 버퍼링 경계를 기준으로 각 행정구역 폴리곤이 차지하는 면적비(해당 행정구역의 폴리곤 면적/버퍼링 면적)를 적용하여 합산한 인구밀도를 의미한다.

(5) 환경적 지속가능성

환경적 지속가능성을 검토하기 위하여 본 연구에서는 환경부에서 제공하고 있는 국토환경성평가지도를 활용하였다. 국토환경성평가지도는 국토를 친환경·계획적으로 보전, 개발, 이용하기 위해 환경성을 종합적으로 평가함으로써 보전해야 할 지역과 계획적 개발을 유도해도 될 지역을 모두 5등급으로 구분한 지도이다(환경부, 2005). 등급별 관리원칙은 보전가치가 높은 1, 2등급의 경우 보전을 유도하며, 3등급은 완충역할을 수행, 4, 5등급은 친환경적 개발을 유도하는 것으로 정의하고 있다. 등급에 의한 평가는 토지적성평가지침(건설교통부, 2003)의 방법을 참고하여 대상지점에서 반경 1 ㎞를 버퍼링한 후, 1, 2등급이 차지하는 면적인 상위등급면적비(high-degree area ratio; 1, 2등급 면적/총면적×100 %)를 사용하였다.

(6) 사회적 지속가능성

소수력 개발의 장점은 언급한 바와 같이 친환경적인 에너지 생산 및 개발 기술의 축척 등 여러 가지가 있는데, 이 가운데 지역사회에 미치는 긍정적인 파급효과를 의사결정시 검토하였다. 특히, 소수력 사업을 통한 전력생산은 지역사회에 조세증가, 안정적인 전력공급 등과 같은 측면에서 지역경제에 미치는 긍정적인 면이 있기 때문에 이러한 내용을 사회적 지속가능성으로 검토하였다. 이때, 이것에 대한 속성값으로 전력생산 규모를 대변할 수 있는 척도인 개발 대상지점에서 사전에 예측된 연평균발전량(MWh/year)을 고려하였다.

3.3 상대적 가중치 도출

소수력 개발시 평가기준의 상대적 중요도(가중치)를 평가하기 위하여 각 기준별로 쌍대비교를 실시하였다. 이 때, 각 계층의 중요도는 평가항목 간 쌍대비교 질문에 대한 응답결과로 결정된다. 본 연구에서는 쌍대비교를 위한 설문조사를 소수력 관련 전문가 4인에게 1:1 대인면접법에 의한 설문조사를 실시하였으며, 쌍대비교시 Saaty (1977, 1980)가 제안한 1에서 9까지의 9단위의 척도로 나누어 그 값을 정의하는 9점 척도로 중요도를 부여하였다(Table 1). 다만, Level 1 항목인 기술·경제성과 사회·환경성의 상대적 중요도는 전체 구조에 미치는 영향이 매우 큰 반면, 평가기준이 단 두 개이고 응답자들이 전문가라는 점을 고려하여 상대적인 중요도를 100점 평점으로 질문하였다. 예를 들면, '기술·경제성 : 사회·환경성 = 65 : 35'라는 형태로 응답할 수 있도록 하였다. 각 계층의 가중치 벡터를 합성함으로써 최종적으로 종합 가중치를 산출할 수 있는데, Table 2과 같이 개별 구성원 각자가 제시한 값들의 기하평균(geometric mean)을 구해 그 값을 전체의 대표 값으로 사용하였다.

Table 1. Questionnaire for Relative Importance Evaluation

Survey	Criteria	Absolute		Very strong		Strong		Weak		Equal		Weak		Strong		Very strong		Absolute	Creteria
1	Technical-economic	00 (%) : 00 (%) direct survey																	Social-environment
2-1	Economic efficiency	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	Load accessibility
2-2	Dispute potential	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	Sustainability
3-1	Residential status	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	Agricultural status
3-2	Environmental sustainability	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	Social sustainability

Table 2. Aggregation of Individual Weights by Geometric Mean Method

	Survey 1	Survey 2-1	Survey 2-2	Survey 3-1	Survey 3-2
Respondent 1	1.500	7.000	3.000	5.000	0.250
Respondent 2	1.500	5.000	3.000	0.200	0.143
Respondent 3	0.818	5.000	7.000	7.000	7.000
Respondent 4	1.500	7.000	6.000	0.143	7.000
Geometric mean	1.289	5.916	4.409	1.000	1.150

Survey 1: Technical-economic analysis / Social-environment analysis
Survey 2-1: Economic efficiency / Load accessibility
Survey 2-2: Dispute potential / Sustainability
Survey 3-1: Residential status / Agricultural status
Survey 3-2: Environmental sustainability / Social sustainability

Table 3. Composite Relative Weights by Criteria

Level 1	Level 2	Level 3	Weights
Technical-economical analysis	Economic efficiency	-	0.481
	Accessibility	-	0.082
Social-environmental analysis	Dispute potential	Residential status	0.178
		Agricultural status	0.178
	Sustainability	Environmental sustainability	0.043
		Social sustainability	0.038

AHP에서 집단의사결정의 경우에는 개인별 쌍대비교행렬의 기하평균을 이용하여 집단의 쌍대비교행렬을 구성한 다음, 집단의 우선순위벡터를 산정할 것인지, 혹은 개인별 응답결과로 나온 우선순위벡터를 가중산술평균(weighted arithmetic mean)하여 집단의 우선순위벡터를 산정할 것인지에 따라 AIJ (Aggregate Individual Judgements) 방식과 AIP (Aggregate Individual Priorties) 방식으로 구분된다. AIJ 방식은 의사결정에 관한 경험적인 자료나 선행연구가 부족하거나 이에 대한 정보가 부족한 비전문가집단에 의한 의사결정시에 주로 활용된다. 반면, AIP 방식은 평가에 참여하는 개별평가자의 견해를 집단의사결정에 종합적으로 반영하기 때문에 개별 전문가의 판단을 중시하는 방식이다.

본 연구에서는 응답자들의 판단행렬을 기하평균하는 AIJ 방식을 사용하였다. 설문대상자들이 비록 수자원 및 소수력 관련 전문가라고 할지라도 AHP기법에 대해 생소하기 때문에 많은 수의 쌍대응비교시 일관성을 유지하기가 쉽지 않은 점 때문이다. 또한, AIP 방식을 사용하면 최종 우선순위벡터만을 활용하기 때문에 가중치 부여단계에서 발생하는 개인별 편차를 중간단계에서 중화시키는 역할을 수행하기 어렵게 된다. Saaty (1980)는 기하평균을 이용하면 의사결정에 참여하는 개인들의 지식들이 합쳐져서(pooling) 좀 더 정교한 집단의사결정을 수행하는 것이 가능하다고 하였지만, 체계적으로 논증되지는 않았다. 따라서 기하평균도 여러 방법들 중의 한 가지일 뿐이며 실제 어느 방법이 적절한가에 대해서는 아직도 이론적으로 검증되어야 할 부분들이 많이 남아있는 상태이다. Table 3은 기하평균으로부터 종합한 평가기준별 가중치를 나타내고 있다.

3.4 교환분석을 위한 표준화

위에서 언급한 평가기준의 속성값은 각자 단위(unit)가 달라 직접적인 교환분석(trade-off analysis)이나 연산이 어렵기 때문에, 각 기준치의 실제값(Z_i)은 무단위를 가지는 지표값(index value)으로 전환되어야만 한다. 이를 위해, i번째 인자에 대한 기준값으로서 가장 좋은 값($bestZ_i$)과 가장 나쁜 값($worstZ_i$)을 사용하면 실제값(Z_i)은 Eq. 4와 Eq. 5에 의해 지표값 $S_i (0 \le S_i \le 1)$로 표준화할 수 있다(Lee *et al.*, 1994). 아래의 식 가운데, 어느 것을 선택하느냐는 해당 인자의 실제값이 추구하는 목적의 방향에 따라 달라진다. 예를 들어, B/C와 같이 값이 클수록 좋은 경우에는 $bestZ_i$는 $worstZ_i$ 보다 크기 때문에 Eq. 4 (Fig. 3)가 선택된다. 반면, 도로 접근성과 같이 값이 작을수록 좋은 경우, $bestZ_i$는 $worstZ_i$ 보다 작기 때문에 Eq. 5 (Fig. 4)가 선택된다.

(Case 1) $bestZ_i > worstZ_i$

$$S_i = \begin{cases} 1 & (Z_i \ge bestZ_i) \\ \dfrac{Z_i - worstZ_i}{bestZ_i - worstZ_i} & (worstZ_i < Z_i < bestZ_i) \\ 0 & (Z_i \le worstZ_i) \end{cases} \quad (4)$$

(Case 2) $bestZ_i < worstZ_i$

$$S_i = \begin{cases} 1 & (Z_i \le bestZ_i) \\ \dfrac{Z_i - worstZ_i}{bestZ_i - worstZ_i} & (bestZ_i < Z_i < worstZ_i) \\ 0 & (Z_i \ge worstZ_i) \end{cases} \quad (5)$$

본 연구에서는 표준화시 극단적인 평가가 되지 않도록 $bestZ_i$ 혹은 $worstZ_i$를 관련 문헌, 통계자료 등을 참고하여 합리적 기준치를 선택, 적용하였다(Table 4). B/C의 경우, 「예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정·보완 연구」(KDI, 2004)에서 163건의 예비타당성조사 사례로부터 제시한 B/C의 폭(0.20-4.78)을 참고하였다. 도로 접근성은 $worstZ_i$를 1km로 결정하였고, 인구

Fig. 3. Converting Zi into Si ($bestZ_i$ > $worstZ_i$)

Fig. 4. Converting Zi into Si ($worstZ_i$ > $bestZ_i$)

Table 4. Threshold Value for Standardization

Criteria	Attribute	Case	Threshold value for standardization	
			$worstZ_i$	$bestZ_i$
Economic feasibility	B/C	Case 1	0.20	4.78
Road accessibility	Access distance (km)	Case 2	1	0
Residential status	Population density (persons/㎢)	Case 2	485	0
Agricultural status	Paddy area ratio (%)	Case 2	100	0
Environmental sustainability	High-grade area ratio (%)	-	by Table 5	
Social sustainability	Annual power output (MWh/year)	Case 1	0	10,000

Table 5. Standard Score of the National Environmental Assessment Map

High-degree area ratio (%)	Less than 20	21-40	41-60	61-80	More than 80
Standard score	100	99-80	79-60	59-40	39-20

밀도는 우리나라 평균 인구밀도(485명/㎢)을 참고하여 $worstZ_i$를 485명/㎢으로 반영하였다. 논면적비는 면적 비율을 사용한다는 측면에서 $worstZ_i$를 100 %로 설정하였다. 연평균발전량은 국내 개발된 대부분의 소수력이 3,000 ㎾ 이하이고, 이용률 40 %를 적용하여 10,000 MWh를 $bestZ_i$로 설정하였다.

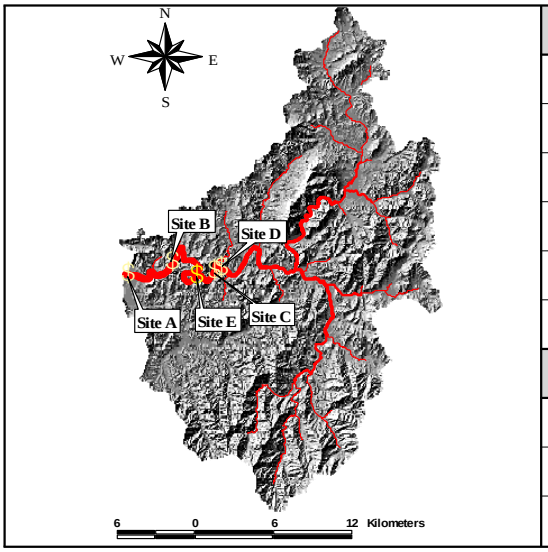
한편, 환경적 지속가능성의 속성값을 표준화시에는 Table 5와 같이 토지적성평가지침(건설교통부, 2003)에 제시되어 있는 생태자연도 표준점수 산정방식을 참고하였다.

4. 적용 및 결과

본 연구에서는 금강유역에 위치한 초강유역을 대상으로 앞에서 언급한 소수력 개발 우선순위 결정 방안에 대한 적용성을 검토하였다. 본 연구에서 검토한 우선순위 결정 대상들은 한국수자원공사(2007)의 연구에서 제시된 5개의 입지를 대상으로 하였고, 각각의 대상 입지들의 위치는 Fig. 5와 같다. 한편, 5개의 입지 가운데 4개 입지는 댐식 소수력(dam type SHP), 나머지 1개 지점은 수로식 소수력(Run of river type SHP)으로 제안되어 있다.

4.1 평가기준별 속성값의 측정

경제적 효율성과 사회적 지속가능성 기준의 속성값들은 한국수자원공사(2007)의 연구에서 산정된 입지별 경제성분석 결과를 활용하였으며, 나머지 평가기준들은 GIS를 활용하여 총 5개 대안(대상지점)에 대한 속성값을 측정하였다. Table 6는 5개의 대안에 대하여 6개의 평가기준인 경제적 효율성, 도로 접근성, 농업현황, 주거현황, 환경적 지속가능성, 사회적 지속가능성의 속성값을 나타내고 있다.



Dam type		
TM (Dam site)		
Location	X	Y
A	264291	303632
B	268311	304442
C	272151	303302
D	274041	303752
Run-of-river type		
TM (Starting point of water way)		
Location	X	Y
E	271011	303512

Fig. 5. Proposed Locations in this Study

Table 6. Attribute Value of Each Locations by Criteria

Criteria	Attribute	Loc. A	Loc. B	Loc. C	Loc. D	Loc. E
Economic feasibility	B/C	1.11	1.05	1.09	1.08	0.74
Road accessibility	Access distance (km)	0.47	0.03	0.11	0.22	0.51
Residential status	Population density (persons/㎢)	49.91	59.30	59.30	213.20	28.50
Agricultural status	Paddy area ratio (%)	52.47	14.49	8.39	27.22	33.25
Environmental sustainability	High-grade area ratio (%)	75.63	57.57	43.52	50.37	66.77
Social sustainability	Annual power output (㎿h/year)	6,073	5,537	5,379	5,422	1,749

Table 7. Calculation of Total Score by Applying Composite Relative Weights

Criteria	Weights	Attribute	Loc. A	Loc. B	Loc. C	Loc. D	Loc. E
Economic feasibility	0.481	B/C	1.11	1.05	1.09	1.08	0.74
		Standard score	0.199	0.186	0.194	0.192	0.118
Road accessibility	0.082	Access distance	0.47	0.03	0.11	0.22	0.51
		Standard score	0.530	0.970	0.890	0.780	0.490
Residential status	0.178	Population density	49.91	59.30	59.30	213.20	28.50
		Standard score	0.897	0.878	0.878	0.560	0.941
Agricultural status	0.178	Paddy area ratio	52.47	14.49	8.39	27.22	33.25
		Standard score	0.475	0.855	0.916	0.728	0.668
Environmental sustainability	0.043	High-grade area ratio	75.63	57.57	43.52	50.37	66.77
		Standard score	0.44	0.62	0.76	0.70	0.53
Social sustainability	0.038	Annual power output	6,073	5,537	5,379	5,422	1,749
		Standard score	0.61	0.55	0.54	0.54	0.17
Total Score			0.43	0.53	0.54	0.44	0.41
Priority			4	2	1	3	5

4.2 개발 우선순위 결정

측정된 세부기준의 속성값에 대하여 가중치가 고려된 평점값을 결정하기 위해서는 앞에서 언급한 바와 같이 표준화를 실시하여야 한다. 이 때, 각각의 평가항목의 특성에 따라 Eq. 4가 적용되는 것과 Eq. 5가 적용되는 항목으로 구분하여야 한다. 경제적 효율성과 사회적 지속가능성의 속성값은 값이 높을수록 긍정적인 것을 의미하므로 Eq. 4를 적용하였고, 주거현황, 농업현황, 도로 접근성의 속성값은 값이 낮을수록 긍정적이므로 Eq. 5를 적용하여 표준화하였다. 환경적 지속가능성의 속성값은 Table 5를 참고하여 표준화하였다. 이렇게 표준화한 값들에 Table 3의 평가기준별 상대적 종합가중치를 곱하면 Table 7과 같이 소수력 입지별 최종적인 총점 계산과 그에 따른 우선순위를 결정할 수 있다.

4.3 결과 분석

AHP 기법에 의해 산정한 상대적 가중치를 살펴보면, 상위기준에서는 기술·경제성이 0.563(경제성, 도로접근성 기준의 가중치 합), 사회·환경성은 0.437(주거현황, 농업현황, 환경적 지속가능성, 사회적 지속가능성 기준의 가중치 합)로 나타나 상대적으로 기술·경제성의 중요도가 높게 나타났다. 경제성과 밀접한 기술·경제성 평가기준의 가중치는 수자원분야를 비롯한 여러 분야에서 AHP를 활용한 대안 평가시 도출된 수치와 유사하였다. 세부 평가기준의 가중치는 경제성(0.481), 도로 접근성(0.082), 주거현황(0.178), 농업현황(0.178), 환경적 지속가능성(0.043), 사회적 지속가능성(0.038)으로 나타나, 환경적·사회적 지속가능성에 비해 분쟁가능성(주거현황, 농업현황 기준)에 보다 많은 중요도를 두고 있는 것으로 나타났다. 이는 소수력 개발 및 운영시 여러 주체와 갈등이 잦았다는 점을 대변하는 것으로 판단된다. 가중치를 적용하여 종합한 결과, B/C 평가기준에서 2순위였으나 기타 평가기준에서 높게 평가된 Loc. C 대안이 종합점수 0.54로서 개발 1순위 지점으로 평가되었고, B/C가 가장 높아 경제성이 가장 우수하였던 Loc. A 대안은 기타 평가기준에서 낮게 평가되어 개발 4순위 지점으로 나타났다.

5. 결 론

소수력 개발 대상지점들 사이에서 개발 우선순위는 평가기준들과 이러한 기준들의 상대적 중요도에 따라 달라질 수 있으므로 기준들의 선택은 면밀한 검토와 신중함을 요한다. 특히, 모든 평가기준들은 소수력 개발에 미치는 영향인자와 소수력 개발로 인한 영향인자들을 대표할 수 있어야 한다. 또한, 각 기준의 상대적 중요도를 나타내는 가중치에 따라 다른 결과가 도출될 수 있기 때문에 의사결정자는 각 기준의 상대적 중요도 측정을 위한 척도가 의미하는 바를 정확히 파악하여야 할 뿐만 아니라, 산출된 가중치가 자신의 판단을 일관성 있게 반영하고 있는지도 검증할 필요가 있다. 이러한 측면에서 AHP기법은 가중치에 대한 의사결정자의 일관성 있는 판단을 돕고 이를 검증하는데 효과적으로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

과거에는 소수력 자원조사를 위하여 많은 시간과 비용을 들여 현장답사를 하거나 종이지도에 의존하여 지형분석을 수행하였다. 그러나 이러한 방식은 넓은 유역내의 다수의 입지들을 분석함에 있어서 장시간을 요하고 객관성이 떨어지는 등 효율성이 낮다는 단점이 있으며, 수작업에 의한 연구자의 실수, 주관적인 판단 개입 및 개인오차와 같은 요인들로 인해 분석결과에 대한 신뢰성이 저하될 가능성이 크다. 본 연구에서는 소수력 개발을 위한 입지들 간의 개발 우선순위를 결정하기 위하여 공간 다기준의사결정 방법을 제시하고 AHP와 GIS를 분석도구로서 활용하였다. 이는 사용자의 편의성을 크게 개선한 것으로 판단된다. 다만, GIS 자료 및 도구의 활용은 사용자가 기초적인 이론과 사용방법을 숙지하고 있어야 구현이 가능하며, 각종 자료의 정확도가 분석에 큰 영향을 미치므로 자료에 대한 사전 검증도 중요한 부분을 차지할 것으로 판단된다.

본 연구는 소수력과 관련된 개발 우선순위 의사결정 문제 지원을 위한 기초연구라고 할 수 있으며, 본 연구에서 제시한 평가기준 및 기준별 상대적 중요도, 측정방법에 대하여는 향후 실제적인 사업추진에 의한 검증이 필요할 수 있다. 특히, 국내 소수력 관련 전문가가 많지 않은 현실에서 설문 응답자가 임의적인 판단을 내렸을 여지도 있을 것이다. 따라서 향후에는 폭넓은 전문가 집단의 참여를 통한 의견수렴과 소수력 개발사업의 추진시 계속적인 분석을 통해 가중치 자료를 축적한다면, 이를 사업별 분석결과의 검증을 위한 신뢰할 만한 비교평가 자료로 활용할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

건설교통부 (2003). 토지적성평가지침

과학기술처 (1974). 소수력 발전 입지 조사, R-74-56.

과학기술처 (1985). 소수력 발전 개발에 관한 연구

이충성 (2007). 지형공간정보체계를 활용한 소수력 개발의 입지분석. **한국수자원학회 논문집.** 제40권, 제12호, pp. 987-996.

한국개발연구원 (2004). 예비타당성조사 수행을 위한 일

반지침 수정・보완 연구(제4판)
한국동력자원연구소 (1983). 국내 소수력 자원조사 및 개발 (II). KE-83-5.
한국동력자원연구소 (1984). 국내 소수력 자원조사 및 개발 (III). KE-84-5.
한국동력자원연구소 (1989). 소수력 자원의 정밀조사 및 최적개발 분석 연구 (I). KE-89-19.
한국동력자원연구소 (1990). 소수력 자원의 정밀조사 및 최적개발 분석 연구 (II). KE-90-15.
한국수자원공사 (2007). 소수력 개발 활성화 방안 연구
한국에너지기술연구소 (1992). 소수력 자원의 정밀조사 및 최적개발 분석 연구 (IV). KE-92029G.
환경부 (2005). 중부권지역 국토환경성평가지도 제작
Baban, S.M.J., and Wan-Yusof, K. (2003). "Modelling optimum sites for locating reservoirs in tropical environments." *Water Resources Management*, Vol. 17, pp. 1-17.
Dudhania, S., Sinhab, A.K., and Inamdara, S.S. (2006a). "Small hydropower and GIS for sustainable growth in energy sector." *Conference Proceedings of Map India 2006*.
Dudhania, S., Sinhab, A.K., and Inamdara, S.S. (2006b). "Assessment of small hydropower potential using remote sensing data for sustainable development in India." *Energy Policy*, 34, pp. 3195-3205.
Gismalla, Y.A., and Bruen, M. (1996). "Use of GIS in reconnaissance studies for small-scale hydropower development in a developing country: A case study from Tanzania." in K. Kovar and H.P. Nachtnebel (eds), Hydro GIS '96: Application of geographic information systems in hydrology and water resources management, *Proceedings of the Vienna Conference*, AIHS Publ. No. 235, pp. 307-312.
Kaijuka, E. (2007). "GIS and rural electricity planning in Uganda." *Journal of Cleaner Production*, Vol. 15, pp. 203-217.
Lee, Y.W., Dahab, M.F., and Bogardi, I. (1994) "Fuzzy Decision Making in Groundwater Nitrate Risk Management." *Journal of the American Water Resources Association*, Vol. 30, No. 1, pp.135-147.
Saraf, A.K., and Kumar, A. (2006). "Spatial technologies in himalayan small hydropower development." *Himalayan Small Hydropower Summit*, October 12-13, Dehradun.
Saaty, T.L. (1977) A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures. *Journal of Mathematical Psychology*, Vol. 15, No. 3, pp. 234-281.
Saaty, T.L. (1980) *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York.
Tanutpongpalin, N., and Chaisomphob, T. (2004). "Proposed methodology for site selection of run-of-river type small hydropower project based on environmental criteria." *The Joint International Conference on "Sustainable Energy and Environment (SEE)"*, 1-3, December 2004, Hua Hin, Thailand.

논문번호: 09-094	접수: 2009.08.21
수정일자: 2009.08.28/09.28	심사완료: 2009.09.28