

지형공간정보체계를 활용한 소수력 개발의 입지분석

Location Analysis for Developing Small Hydropower Using Geo-Spatial Information System

이 충 성* / 김 길 호** / 이 진 희*** / 심 명 필****

Yi, Choong Sung / Kim, Kil Ho / Lee, Jin Hee / Shim, Myung Pil

Abstract

Small hydropower is the one of the cleanest one among new and renewable energy with less green house gas emissions. Recently, the necessity of developing small hydropower is emerging since its remaining potential resources in this country are abundant. However, a survey or research on the small hydropower development has been hardly performed since the 1990's. These circumstances encourages a systematic approach for the small hydropower development. The purpose of this study is to propose a methodology of the location analysis for developing small hydropower. To this end, constraint and location criteria with weights are established and quantification method of each factor is presented. Especially, the analysis procedure is established on the basis of GIS. Also the study focus on raising the objectivity and precision of analysis by developing system model with automatic search. The proposed methodology is applied to Bochung stream in Keum Riverbasin. The result selects the four and two locations of dam type and run-of-river type respectively. This study will be beneficial to the future activation of small hydropower development as a fundamental work.

keywords : small hydropower, location analysis, GIS, GIS, new and renewable energy

요 지

소수력은 신재생에너지 중에서도 온실가스 배출량이 가장 적은 청정에너지중의 하나이며, 국내 부존량이 매우 풍부하기 때문에 최근 개발에 대한 필요성이 부각되고 있다. 그러나 국내에서 소수력 개발을 위한 자원조사나 연구는 1990년대 이후 매우 미흡한 상황이어서 체계적인 연구가 뒷받침 되어야 할 것이다. 본 연구의 목적은 소수력 개발의 계획단계에서 입지분석을 위한 방법론을 제시하는 것이다. 이를 위해서 제약기준과 입지기준을 설정하고 가중치를 부여하였으며, 각 요인들의 정량화 방법을 제시하였다. 특히, 최근 시설물 입지분석에 광범위하게 사용되고 있는 지형공간정보체계를 활용하는 분석절차를 수립하고 자동탐색이 가능한 시스템모형을 개발하여 분석의 객관성과 정밀성을 제고하는데 중점을 두었다. 개발된 방법론은 금강수계의 보청천에 적용하였으며 분석결과, 댐식 4개소, 수로식 2개소를 입지로 선정하였다. 본 연구는 향후 소수력 개발 활성화에 대비한 기초연구로서 의의가 있다.

핵심용어 : 소수력, 입지분석, 지형공간정보체계, 지리정보시스템, 신재생에너지

* 인하대학교 수자원시스템연구소 선임연구원

Senior Researcher, Inst. of Water Resources System, Inha Univ., Incheon 402-751, Korea (e-mail: sung@inha.ac.kr)

** 인하대학교 사회기반시스템공학부 석사과정

MS Candidate, Dept. of Civ. Engrg., Inha Univ., Incheon 402-751, Korea (e-mail: kimkh@inha.ac.kr)

*** 인하대학교 수자원시스템연구소 연구교수

Research Prof., Inst. of Water Resources System, Inha Univ., Incheon 402-751, Korea (e-mail: jinheelee@inha.ac.kr)

**** 인하대학교 사회기반시스템공학부 교수

Prof., Dept. of Civ. Engrg., Inha Univ., Incheon 402-751, Korea (e-mail: shim@inha.ac.kr)

1. 서론

소수력(Small HydroPower, SHP)은 신재생에너지 중에서도 온실가스 배출량이 가장 적은 청정에너지이다. 특히, 우리나라에서 소수력발전은 화석연료의 감축노력과 풍부한 부존량을 바탕으로 대체에너지로서 성장잠재력이 클 것으로 전망된다. 소수력 개발의 성공은 사업시행을 판가름할 경제성분석에 의해 좌우 되는데, 그 결과는 개발형식 및 설비용량과 같은 발전능력 특성에 의해 결정 된다. 그런데 발전능력 특성은 지형 및 수문 조건에 의해 결정되므로 정확한 입지분석은 소수력 개발의 핵심적 과제라 할 수 있다.

입지분석(location analysis)이란 적절한 토지의 평가를 바탕으로 하여 시설입지의 다양한 요구를 평가하여 그 대안을 제시해 주는 것이다(허윤경, 1997). 그러므로 소수력의 입지분석이란 개발 초기의 조사단계에서 사업상 장애가 적고 경제성이 있다고 판단되는 다수의 후보 입지를 탐색하는 과정으로 정의할 수 있다. 이를 위해서는 시간과 비용이 상대적으로 적은 기존의 지형 및 수문자료를 활용하는 것이 합리적이다. 과거에는 이러한 분석이 현지답사와 종이지도에 의존하여 이루어져 왔다. 그러나 광범위한 유역을 분석함에 있어 장시간을 요하고 객관성이 떨어지는 등 효율성이 낮고, 수작업에 의한 연구자의 실수, 주관적인 판단 개입 및 오류 등으로 결과에 대한 신뢰성을 저하시킬 수 있다.

국내에서의 본격적인 소수력 자원의 조사는 「소수력 발전 입지 조사」(과학기술처, 1974)에서 시작되었는데, 두 차례 전국규모의 현지답사와 항공조사 등을 통해 총 3,000여개의 입지를 선정한 바 있다. '90년대 초반까지는 소수력 자원조사에 대한 연구(과학기술처, 1985; 한국동력자원연구소, 1983, 1984, 1989, 1990; 한국에너지기술연구소, 1992)가 다수 수행되었으나 절차 및 기준 설정에 대해 방법론적으로 진전된 연구는 없었다. 최근 권영환과 김지영(2006)이 소수력발전소가 환경에 미치는 영향 등을 분석하여 입지에 대한 정책적 대안을 제시한 바는 있으나 '90년대 중반 이후 전반적으로 입지 분석과 관련한 연구는 미흡한 상황이다.

최근에는 복잡한 공간정보를 종합적이고 체계적으로 수집, 저장, 검색 및 분석할 수 있는 지형공간정보체계(Geo-Spatial Information System, GIS)가 소수력 개발의 입지분석에 활용되면서 과거와 달리 기초조사단계에서도 정밀한 분석을 가능하게 하고 있다. Gismalla and Bruen(1996)이 개발도상국의 소수력 개발에서 GIS 활용의 효율성을 강조한 바 있으며, Kaijuka(2007)은 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). 국내의 경우, GSIS를 이용한 연구는 대부분이 기피시설이나 혐오시설의 입지 및 적지 분석에 집중되었다(양인태 등, 1993; 허윤경, 1997; 배민기와 장병문, 1998; 이희연과 임은선, 1999; 한혜진, 2002; 허준 등, 2005; 김태준과 김근상, 2006).

본 연구의 목적은 소수력 개발의 입지분석에서 GSIS를 활용하여 과거 현장답사와 수작업에 의존했던 입지 분석 방법을 객관화, 정밀화하는 데에 있다. 따라서 본 연구의 입지분석은 많은 대안들 중에서 최적지를 선정하는 적지분석(site suitability analysis)과는 구별되는 것으로서 대안이 될 수 있는 입지들을 탐색하는 기준과 방법론 구축에 초점을 둔 것이다. 개발된 방법론을 적용한 결과, 넓은 유역을 단시간에 정밀하게 탐색할 수 있었으며 사용자 편의성을 개선함으로써 소수력 개발을 위한 정책의사결정시 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

2. 소수력 개발 입지분석의 기준 및 절차

본 연구의 소수력 개발 입지분석은 대상유역의 DEM을 이용하여 하천망 격자(stream network grid)를 생성하고, 개개의 격자들을 대상으로 입지를 탐색하였다. 그러나 소수력 개발과 같이 입지요인이 까다로운 시설물의 입지분석에서는 제약기준에 의해 부적합한 지점들을 먼저 제거한 뒤, 입지기준을 이용하여 탐색하는 것이 효율적이다. 이를 위해 우선적으로 법적제한지역이나 분쟁(갈등)의 소지가 높은 지점을 제거하기 위해 국립공원, 상수원보호구역, 농업시설물, 주거지역 등을 제약기준의 항목으로 설정하였다. 입지기준의 항목은 수문학적, 지형적 및 환경·생태적 요인 등으로 설정하였으며 탐색대상 지점별로 평점(scoring)한 결과를 바탕으로 우선순위에 따라 최종 입지를 선정하였다. Fig. 1은 입지분석을 위해 설정된 기준을 나타낸 것이다.

입지분석에서는 사용된 방법론의 검증과 실제 결과물에 대한 확인 작업이 반드시 필요하므로 분석과정 및 결과에 대하여 목적에 부합되는지 여부를 판단하기 위한 환류과정(feedback)을 포함하고 있어야 한다(허윤경, 1997). 이를 위해 본 연구는 Fig. 2와 같이 7단계의 입

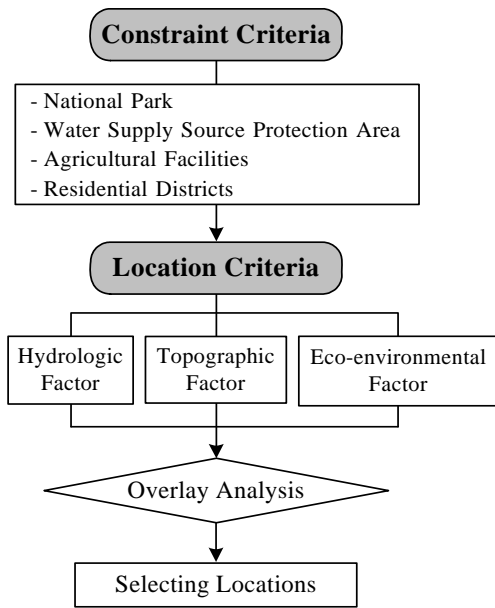


Fig. 1. Criteria for Location Analysis

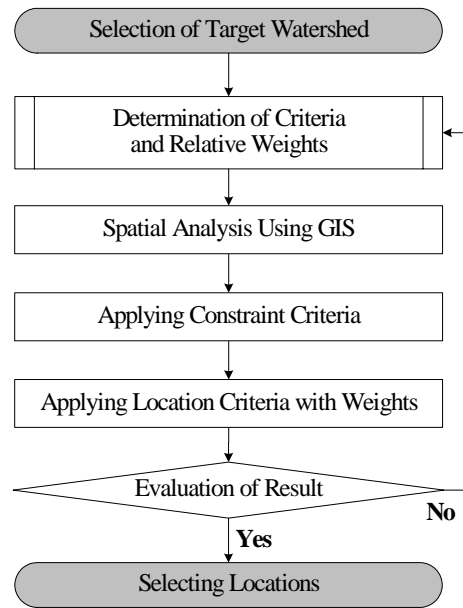


Fig. 2. Procedure of Location Analysis

지분석 절차에 환류과정을 포함시켜 기준들의 적정성을 검토하고 입지기준간의 상대적 가중치를 조정하도록 하였다. 즉, Table 1에 나타난 입지기준과 그 가중치는 급강유역을 대상으로 절차에 따라 선정된 입지들을 경제성분석을 통해 평가하는 동시에, 기존 자원조사에서 제안된 8개 입지가 포함되도록 입지기준과 가중치를 시행착오적으로 조정하여 도출된 것이다. 특히, 댐과 수로식은 시설구조 및 전력생산 메커니즘이 이질적이므로 가중치를 별도로 부여하였다. 요컨대, 입지기준과 가중치의 도출은 분석절차의 과정인 동시에 결과물인 것이다.

Table 1. Weights of Location Criteria

Factor \ Type	Topographic Factor		Hydrologic Factor	Eco-Environmental Factor	Sum
	Natural Head	Storage-Compensation Area	Runoff Contribution Area	National Environmental Assessment Map	
Dam	0	0.3	0.3	0.4	1.0
Run-of-river	0.5	0	0.3	0.2	1.0

Table 2. Factors of Constraint Criteria and Required Geo-Spatial Data

Factors	Guidelines	Geo-Spatial Data
National Park	Locations onto National Park Area	National Park Area Map
Water Supply Source Protection Area	Locations within 1km distance from Water Supply Source Protection Area	Water Supply Source Protection Area Map
Agricultural Facilities	Locations within 1km distance from Agricultural Facilities	Agricultural Facilities Distribution Map
Residential Districts	Locations within 200m distance from Residential Districts	Land Cover Map

계약기준의 각 제약요인들은 현실적인 문제들을 고려한 것이므로 사회적 변화상에 따라서는 축소 또는 확대될 수 있다. 따라서 계약기준을 적용하지 않은 채 입지분석을 수행한다면 선정된 입지들은 포장수력(부존량)을 의미하게 된다. Table 2는 계약기준의 요인별 내용과 사용될 공간자료를 나타내고 있다.

3.2 입지기준: 지형적 요인

3.2.1 자연낙차

수로식 소수력발전의 성능에 절대적인 영향을 미치는 요인은 자연낙차(natural head)이다. 본 연구에서는 하천을 따라 하류방향으로 수로의 시점을 이동시키면서 수로길이의 변화에 따른 시점과 종점 사이의 표고차이(자연낙차)를 계산하였다. 수로길이를 변화시키는 이유는 최대한 짧은 길이의 수로로 최대한의 낙차를 얻을 수 있는 입지를 탐색하여 경제성을 높이기 위함이다.

Fig. 3은 낙차계산을 위한 탐색 알고리즘을 나타낸 것으로서, 기본원리는 수로의 시작점에서 일정 길이의

반지름을 가진 원을 그렸을 때, 하도와 원의 경계가 만나는 지점(중점)과 시점과의 표고차이를 이용하여 낙차를 계산하는 것이다. 이 때 원의 반지름 즉, 시점으로 부터의 직선거리가 수로길이에 해당된다. 만일 동일 수로길이(직선거리)에서 여러 지점이 만날 경우에는 가장 큰 낙차를 가지는 지점을 남기고, 나머지는 제외한다. 결국 이러한 과정은 대상유역에 생성된 탐색지점의 수에 따라 시점을 이동시키면서 수천 또는 수만 번의 반복연산을 수행한다. 이렇게 산정된 수로 길이별 낙차는 여러 개의 셀 단위로 구성하여 저장하였다가 최종 입지 선정을 위해 평점(scoring)하여 사용된다.

Fig. 4는 Fig. 3의 낙차탐색 알고리즘을 GIS 공간에서 실행하기 위한 격자자료들의 중첩을 나타내고 있다. DEM으로부터 얻어진 하천망 격자자료를 유클리드 거리(euclidean distance)로 버퍼링(buffering)한 수로길이 격자와 중첩하여 수로길이에 따른 자연낙차를 산정할 수 있다. 또한 이 과정에서 유역변경식 수로 생성을 방지하기 위한 하천차수 격자를 중첩할 수도 있다.

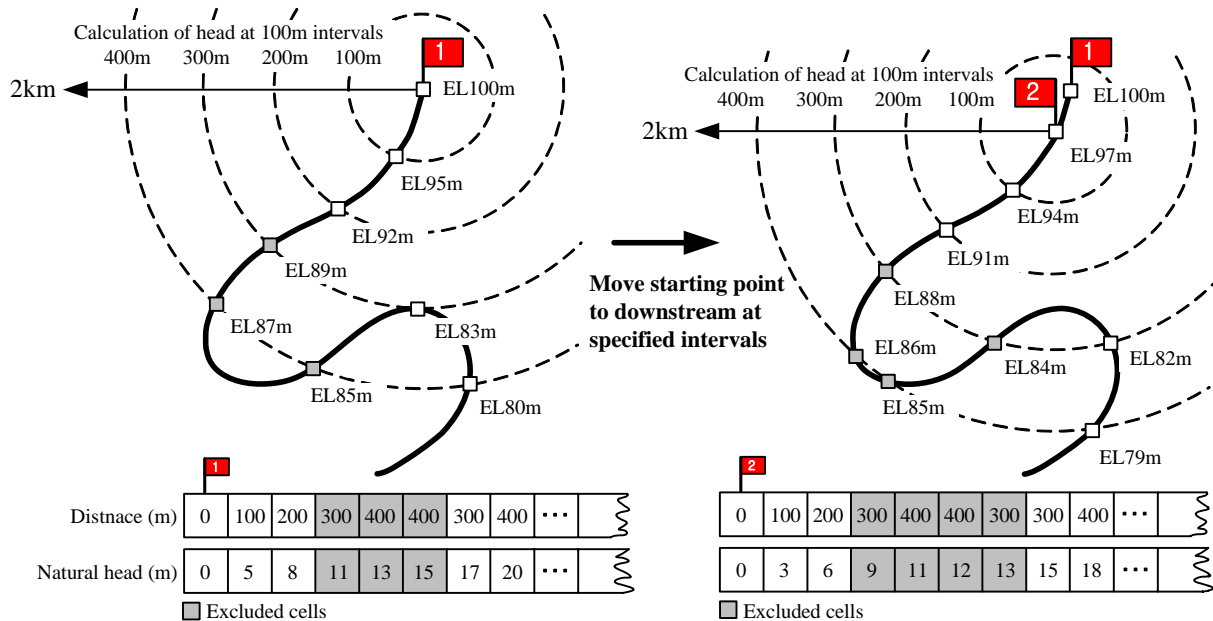


Fig. 3. Searching Algorithm for Calculating Natural Head

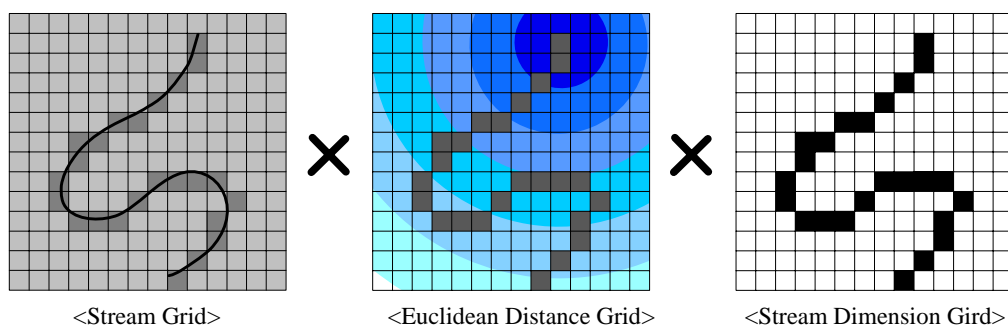
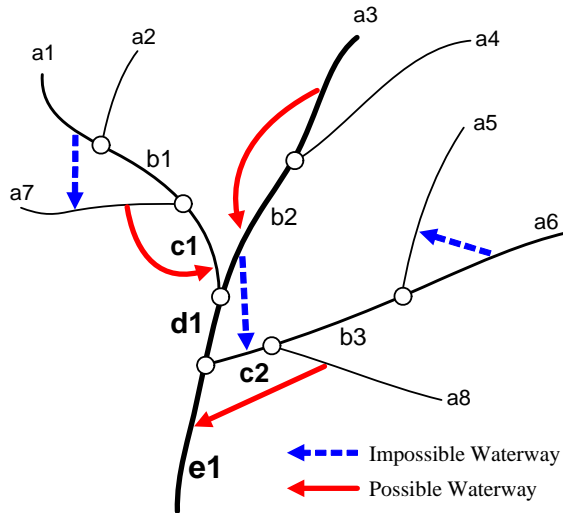


Fig. 4. Grid Overlay Analysis for performing Natural Head Searching Algorithm



<Stream Link Code>

Link Number	Stream Demension				
	a	b	c	d	e
a1	1	1	1	1	1
a2	2	1	1	1	1
a3	3	2	0	1	1
a4	4	2	0	1	1
a5	5	3	2	0	1
a6	6	3	2	0	1
a7	7	0	1	1	1
a8	8	0	2	0	1
b1	0	1	1	1	1
b2	0	2	0	1	1
b3	0	3	2	0	1
c1	0	0	1	1	1
c2	0	0	2	0	1
d1	0	0	0	1	1
d2	0	0	0	0	1

Fig. 5. Excluding impossible Waterway Using Stream Link Code

일반적으로 유역변경식 수로는 수리권 문제나 건천화 가능성 등 부정적 영향을 야기할 수 있다. 따라서 Fig. 5와 같이 하도구간(stream link)마다 코드명을 부여하여 유역변경식 수로가 생성되는 것을 방지할 수 있도록 고안하였다. a1, a2, a3 등은 임의로 부여한 동일 차수 하도구간들의 일련번호이고, a, b, c 등은 특정 하도구간이 높은 차수의 하류로 연결되는 경로를 나타내는 경로코드의 속성이다. 즉, 두 하도구간의 하류 경로 코드가 서로 다르면 유역변경식 수로가 된다.

계산된 자연낙차는 비교를 위해 점수화하고 가중치를 적용한다. 그런데 자연낙차는 각 탐색지점별로 수로 길이에 따라 복수 계산되었으므로 대표할 수 있는 값을 찾아야 한다. 따라서 Eq. (1)과 같이 m개 수로길이별 경사의 평균값 \bar{s}_i 를 사용하기로 하였다. n개 탐색지점에 대한 \bar{s}_i 를 계산한 후에는 가중치 적용을 위하여 최대값으로 나누어 표준화(standardize)한다. 이러한 방법은 수많은 탐색지점 중에서 입지를 선정하기 위한 수단일 뿐이며, 입지선정 이후에는 수로길이에 따른 비용과 낙차로 인한 편익을 비교하여 순편익(net benefit)이 최대가 되는 수로길이를 채택하여야 할 것이다.

$$P_i^h = w^h \times \frac{\bar{s}_i}{\text{Max}(s_1, s_2, \dots, s_n)} \times 100 \quad (1)$$

$$\bar{s}_i = \sum_{j=1}^m \frac{h_j/l_j}{m}, \quad (i=1,2,\dots,n), \quad (j=1,2,\dots,m)$$

여기서, P_i^h 는 탐색지점 i 의 자연낙차 점수, w^h 는 자연낙차의 가중치(Table 1), \bar{s}_i 는 탐색지점 i 의 수로길이별 경사의 평균, h_j 는 j 번째 수로길이의 자연낙차, l_j 는 j 번째 수로의 길이를 각각 나타낸다.

3.2.2 저류용량-보상면적

하천유량을 직접 이용하는 수로식 소수력발전은 안정적인 유량확보가 관건이다. 그러나 우리나라의 수문 특성상 안정적인 유량확보는 어려운 점이 있으므로 대개의 경우 취수댐 또는 저수댐을 이용하는 방식으로 소수력 개발이 이루어진다. 따라서 소수력 입지분석시 댐과 관련된 입지요인을 충분히 고려하여야 하며 본 연구에서는 저류용량과 보상면적을 선정하였다.

저류용량은 복수의 댐 높이를 대상으로 하도록 하였으며 GIS의 공간정보 분석을 이용하여 산정할 수 있다. 우선 탐색지점별 유출지배면적을 산정한 후에 댐에 의해 저류된 저수위의 표고에서 실제 지반고(DEM)의 표고를 차감하여 저수심을 얻고, 격자별 저수심을 합산하여 이를 단위격자의 면적에 곱하면 산정할 수 있다. Fig. 6은 이러한 알고리즘을 나타내고 있다.

보상면적은 저류용량만으로 판별하기 어려운 저류면적이나 댐 건설지점의 하폭 등을 고려하여 저수시 수몰지역이 과도하지 않도록 하기위한 입지요인이다. 저류용량 산정시 댐 높이에 비해 저류용량이 지나치게 큰 지점은 일반적으로 하폭이 넓고, 주변에 인문 활동이 많은 평탄지일 확률이 크기 때문에 경제적, 환경적 비용이 과대할 수 있다. 그러나 보상면적을 직접 산정하기 위해서는 많은 시간과 노력이 필요하므로 인문 활동이 많거나 평탄지일 것으로 추정되는 토지이용 상태를 파악하여 간접적으로 추정하는 방식을 사용하였다. Fig. 7과 같이 중분류 토지피복도를 버퍼링하면 버퍼의 총 면적에 대해 관련 토지이용 항목들의 면적이 차지하는 비율을 구할 수 있고, 이 비율이 높을수록 보상면적이 높을 것으로 판단하였다. 버퍼링 반경은 소수력 댐의 규모가 크지 않음을 감안하여 1km로 설정하였다.

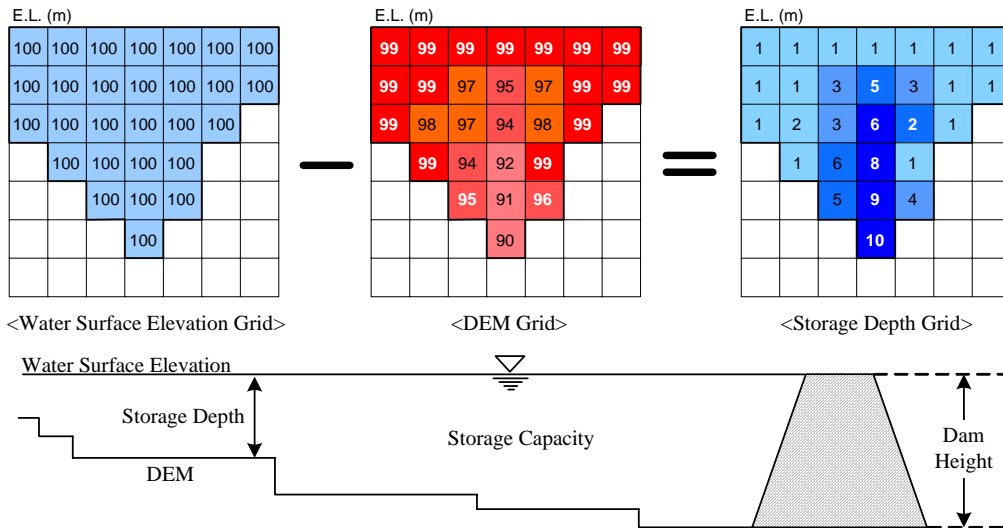


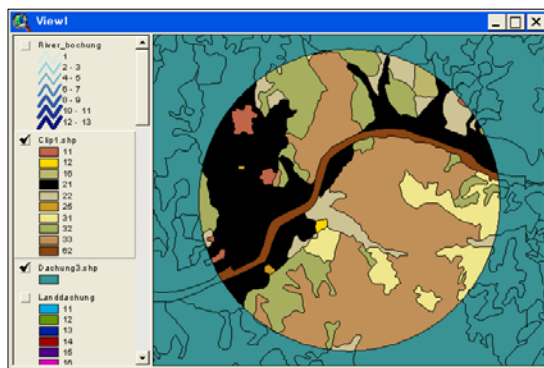
Fig. 6. Conceptual Scheme of Calculating Reservoir Storage

저류용량-보상면적의 평점은 Eq. (2)와 같이 우선 n 개 탐색지점에 대해서 표준화된 저류용량 점수와 보상면적 점수의 차이 d_i 를 산정하고, 이를 다시 표준화하여 계산할 수 있다.

$$P_i^d = w^d \times \frac{\text{Max}(d_i, 0)}{\text{Max}(d_1, d_2, \dots, d_n)} \times 100 \quad (2)$$

$$d_i = \frac{s_i}{\text{Max}(s_1, s_2, \dots, s_n)} - \frac{c_i}{\text{Max}(c_1, c_2, \dots, c_n)} \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

여기서, P_i^d 는 탐색지점 i 의 저류용량-보상면적 점수, w^d 는 저류용량-보상면적의 가중치(Table 1), d_i 는 표준화된 저류용량-보상면적의 점수, s_i 는 지점 i 에서의 저류용량, c_i 는 토지피복도상의 보상면적 비율(Fig. 7)을 각각 나타낸다.



*Related Items of Land Cover Map

Item	Code	Item	Code
Residential District	110	Recreation Facility	140
Industrial Area	120	Traffic Area	150
Commercial Area	130	Public Facility	160

Fig. 7. Estimation of Compensation Area

3.3 입지기준: 수문학적 및 환경·생태적 요인

3.3.1 수문학적 요인: 유출기여면적

소수력은 안정적 유량확보가 필수요소이므로 장기간의 유출량자료를 확보하거나 미계측구역의 경우는 장기 유출모의를 통해 유황특성을 분석하여야 한다. 그러나 본 연구와 같이 입지분석 단계에서 수많은 탐색지점별로 이와 같은 분석을 수행하기란 쉽지 않은 일이다. 일반적으로 구역의 강우특성이 공간적으로 큰 변동성이 없다고 가정하면 유황은 유출기여면적이 넓을수록 안정적이고 유출량 또한 증가하게 된다. 따라서 본 연구는 수문학적 요인을 유출기여면적으로 설정하였다. Eq. (3)은 유출기여면적의 평점 방법을 나타낸 것이다.

$$P_i^a = w^a \times \frac{a_i}{\text{Max}(a_1, a_2, \dots, a_n)} \times 100 \quad (3) \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

여기서, P_i^a 는 탐색지점 i 의 유출기여면적 점수, w^a 는 유출기여면적의 가중치(Table 1), a_i 는 탐색지점 i 의 유출기여면적을 각각 나타낸다.

3.3.2 환경·생태적 요인: 국토환경성평가지도

본 연구에서는 소수력 입지분석에 환경·생태적인 영향을 고려하였고, 이를 위해 국토환경성평가지도를 활용하였다. 국토환경성평가지도는 국토를 친환경·계획적으로 보전, 개발, 이용하기 위해 환경성을 종합적으로 평가함으로써 보전해야 할 지역과 계획적 개발을 유도해 줄 지역을 모두 5등급으로 구분한 지도이다(환경부, 2005). 등급별 관리원칙은 보전가치가 높은 1, 2등급의 경우 보전을 유도하며, 3등급은 완충 역할을 수행하

며, 4, 5등급은 친환경적 개발을 유도하는 것으로 정의하고 있다. 등급에 의한 평가는 Table 3과 같이 상위등급면적비율(high-degree area ratio; 1, 2등급 면적/총면적×100)을 표준점수로 환산하여 사용하였다. 상위등급면적 표준점수는 토지적성평가지침(건설교통부, 2003)에 제시되어 있는 생태자연도 표준점수 산정방식을 참고한 것이다. 상위등급면적은 Fig. 7과 같은 방법으로 탐색지점에서 반경 1km를 버퍼링하여 1, 2등급이 차지하는 면적을 산정하였다.

4. 적용 및 결과

본 연구는 금강수계 대청댐 상류유역의 보청천을 대상유역으로 선정하고 개발된 입지분석 방법론을 적용하였다. 금강의 제1지류인 보청천은 유역면적 553.56km², 유역평균경사 32.09%, 유로연장 68.05km의 지방1급하천 하천으로서 Fig. 8은 보청천유역의 수계현황이다.

입지의 개발형식은 댐식과 수로식 각각을 별도로 분석하였는데, 두 형식이 중복되면 댐-수로식으로 개발하게 된다. GIS 분석도구로는 ESRI사의 ArcView GIS 3.2a를 사용하였고, Script 언어인 Avenue를 이용하여 Fig. 9와 같은 자동탐색이 가능한 입지분석 시스템을 개발하였다. 분석방법은 제약기준으로 설정된 구역이나 일정범위의 공간 내에 위치한 탐색지점들을 우선 제외하였고, 입지기준에 따라 낙차, 저류용량, 보상면적, 환경·생태를 차례로 계산하여 평점 하였다. 최종적으로 총점기준 상위 100개 탐색지점에 대하여 총점에 의한

우선순위와 더불어 입지의 중복 및 근접정도, GIS 자료의 오류로 인한 선택 가능성, 시공의 난이도 등을 종합 판단하여 Fig. 10에 나타난 것과 같이 댐식 4개 지점, 수로식 2개 지점을 최종 입지로 선정하였다.

Table 3. 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

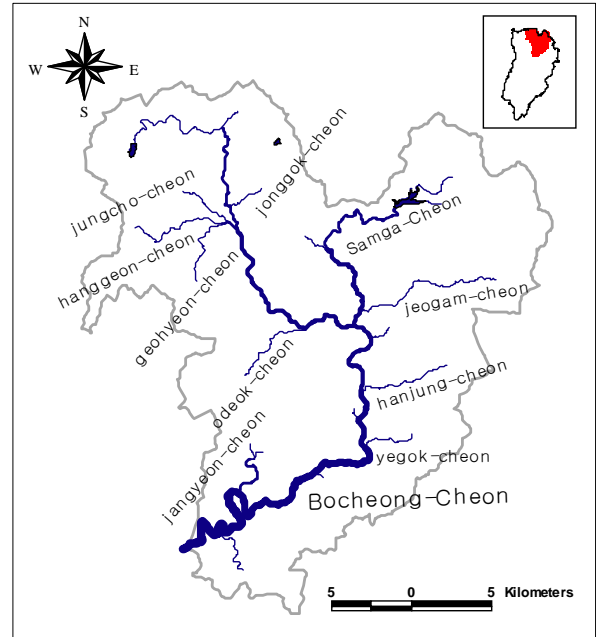


Fig. 8. Bocheong-Cheon River Basin

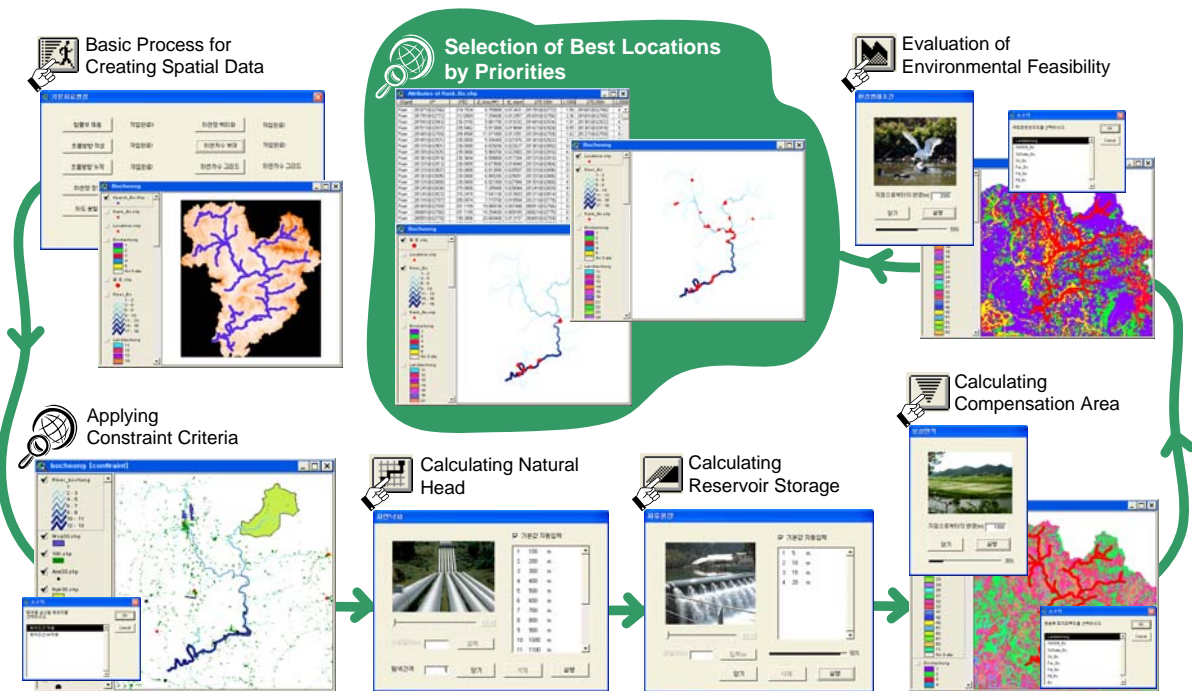


Fig. 9. Location Analysis System Model Using Avenue Script and System Performing Procedure

Table 4. Natural Head at Location E and F

Length of Water Way	Location E			Location F		
	TM(Ending Point)		Natural Head	TM(Ending Point)		Natural Head
100m	264,591	311,612	0.00m	265,611	312,482	0.00m
200m	264,501	311,492	0.15m	265,521	312,752	0.04m
300m	264,381	311,402	4.72m	265,521	312,872	0.04m
400m	264,291	311,372	4.72m	265,281	312,182	4.02m
500m	264,171	311,852	6.05m	265,311	312,062	4.02m
600m	264,081	311,612	6.05m	265,311	311,972	4.02m
700m	263,991	311,942	6.05m	265,281	311,882	5.55m
800m	263,871	311,702	6.05m	265,161	311,762	5.55m
900m	263,781	311,342	6.05m	264,681	311,702	5.55m
1,000m	263,691	311,282	6.05m	264,591	311,612	5.55m

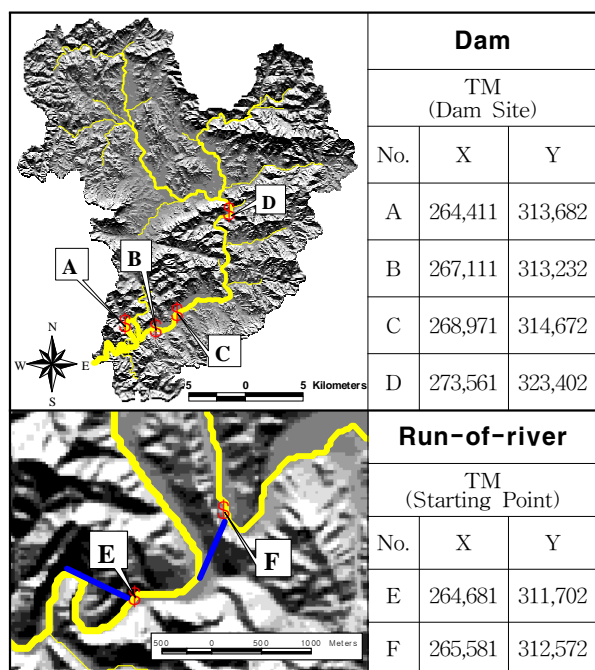


Fig. 10. Proposed Locations in this Study

4.1 지형적 요인

Table 4는 수로식 소수력 입지인 E, F 지점의 자연 낙차를 분석한 결과로서 국내 기존 시설물 사례를 참고하여 100m에서 1000m까지 100m 간격의 수로길이에 대해 낙차를 산정하였다. 수로의 길이가 길어지면 낙차는 더 확보 할 수 있으나 그만큼 비용도 증가하게 된다. 따라서 각 입지별 최적규모는 발전성능 특성분석과 이를 통해 획득한 편익 및 비용을 비교하여 결정 할 수 있다. 댐식 소수력 입지인 A, B, C, D 에 대하여 저류용량-보상면적을 분석한 결과도 Table 5에 나타내었다. 수로식과 마찬가지로 기존 사례를 바탕으로 5m~20m 높이에 따른 저류용량을 산정하였는데, 국내 소수력 댐의 규모가 크지 않음을 감안하여, Eq. (2)에 의해 산정되는 평점은 댐 높이가 5m일 때의 저류용량을 사용하였다.

4.2 수문학적 및 환경·생태적 요인

수문학적 요인인 유출기여면적과 환경·생태적 요인인 국토환경성평가지도의 산정결과는 Table 6 and 7에 나타내었다. 국토환경성평가지도는 탐색지점으로부터 일정범위 내의 자연환경이 개발에 적합한 지역인지 여부를 판단하기 위해 상위등급면적비(1, 2등급)를 산정한 후 이를 표준점수로 변환하였다. 최종 선정된 입지들의 입지요인별 평가점수는 Table 8에 나타내었다.

Table 5. Storage(million m³)-Compensation Area(km²)

Dam Height \ Location	A	B	C	D
5m	3.66	5.59	10.03	3.28
10m	19.65	32.16	32.17	30.55
15m	59.28	71.36	63.10	97.72
20m	113.96	122.77	103.91	206.82
Compensation Area	1.60	3.23	5.13	2.09

Table 6. Runoff Contribution Area (km²)

Location	A	B	C	D	E	F
Area	518.31	482.23	464.15	360.65	522.06	486.98

Table 7. National Environmental Assessment Map

Location	High Degree Area Ratio (%)	Standard Score
A	62.45	57.55
B	46.90	73.10
C	35.00	85.00
D	69.14	50.86
E	72.15	47.85
F	60.95	59.05

Table 8. Summary of Score by Location Criteria

Location	Type	Topographic Factor		Hydrologic Factor	Eco-Environmental Factor	Total Score
		Natural Head	Storage-Compensation Area	Runoff Contribution Area	National Environmental Assessment Map	
A	Dam	-	32.12	94.42	57.55	62.13
B	Dam	-	47.75	87.85	73.10	68.86
C	Dam	-	32.62	84.56	85.00	63.87
D	Dam	-	53.16	65.70	50.86	57.72
F	R-O-R	70.02	-	95.11	47.85	77.84
G	R-O-R	46.53	-	88.68	59.05	64.64

5. 고찰

모형이란 실제현상을 설명하기 위해 현실을 축약시킨 연구의 한 수단이라고 정의할 수 있다. 따라서 모형을 통해 규명하고자 하는 실제현상은 무엇이고 획득한 새로운 지식을 어떤 용도로 사용할 것인지 유념하여, 요구되는 상황에 따라 일반성과 설명력이란 두 가지 측면에서 모형의 효용성을 고찰할 필요가 있다.

5.1 일반성 평가

본 연구는 그동안 현장답사와 수작업에 의존했던 소수력 자원조사를 '입지분석'이라는 체계적 틀 내에서 새롭게 정의하고자 하였다. 이러한 목적을 달성하기 위해서는 크게 두 방향의 구체적 목표가 설정되어야 하는데 하나는 이론의 객관화이고 다른 하나는 수단의 정밀화이다. 이론의 객관화를 위해서는 분석과정에 경험적 요소를 최소화시켜 입지요인들을 정량화(quantification), 지수화(indexation)해야 한다. 또한 수단의 정밀화는 결과의 정확도에 대해 필요조건이므로 효율적인 범위 내에서 최대한 정밀한 자료와 도구를 사용해야 한다.

두 가지 목표를 충족시키는 방법론 도출을 위해서 전자의 경우, 제약기준과 입지기준을 설정하고 각 기준 하위의 요인들을 정량화 혹은 지수화 하는 방법을 제시하였다. 후자를 위해서는 GIS를 활용하는 분석절차를 수립하고 필요한 공간자료들을 제시하였으며, 제약기준 및 입지기준의 각 요인들의 자동탐색이 가능한 시스템 모형을 개발하였다. 개발된 방법론을 보청천유역에 적용한 결과, 댐식 4개소와 수로식 2개소의 입지를 선정하였는데 이는 수계 내 하천 전체에 대하여 30m 간격(DEM 격자크기)으로 설정한 5만 5천여 탐색지점을 제약기준과 입지기준에 따라 5시간 이내에 분석한 결과이다. 이처럼 입지분석 이론의 적용과 GIS의 활용으로 인해 본 연구의 방법론은 과거에 비해 광범위한 유역을 빠른 시간 안에 정밀하게 탐색할 수 있었으며 사용자의

편의성도 크게 개선한 것으로 판단된다.

5.2 설명력 평가

일반적으로 수문학적 입지요인인 유출기여면적은 하류로 갈수록 커지기 때문에 유량측면에서는 하류유역의 입지조건이 유리하다. 그러나 지형적 입지요인인 자연낙차는 유역 상류일수록 커지고, 하류로 내려갈수록 작아지는 경향이 있다. 같은 지형적 입지요인인 저류용량-보상면적은 유·불리를 논하기가 쉽지 않은데, 하류유역이 저류용량 측면에서 유리할 수 있으나 그만큼 보상면적도 크며 상류유역은 저류용량 측면에서 다소 불리하더라도 보상면적이 상대적으로 좁을 가능성이 있기 때문이다. 환경·생태적 입지요인인 국토환경성평가지도는 일반적으로 상류유역이 하류유역에 비해 환경·생태적으로 잘 보존되어 있는 것을 감안할 때, 유역 하류일수록 유리할 것으로 예측해 볼 수 있다.

본 연구의 경우, 보청천유역에서 선정된 입지들은 댐식 소수력 입지인 D지점을 제외하고는 대부분 하류유역에 위치하고 있다. 전술한 바와 같이 하류유역은 유량 측면에서 소수력 입지로서 유리할 것이나, 자연낙차가 중·상류지역에 비해 낮고, 인문 활동이 상대적으로 활발할 가능성이 있기 때문에 반드시 입지로 선정될 가능성이 높은 것은 아니다. 결과적으로 보청천유역은 유출기여면적 이외의 요인들이 소수력 입지로서 적합하지 않다고 볼 수도 있다.

그러나 보청천유역의 경우 중·상류지역에 농경지나 주거 밀집지역이 많고, 오히려 하류유역에 심한 만곡부와 함께 협곡지대가 형성되어 있는 지형적 특성을 갖고 있다(Fig. 10 참조). 따라서 앞서 논하였던 일반적인 상·하류 특성이 복합적으로 나타날 수 있기 때문에 단편적인 현상만으로 결과를 해석할 수는 없을 것으로 생각된다. 오히려 본 연구의 입지분석 방법은 제약기준이나 입지기준에 따라 다양한 유역의 특성을 잘 반영하기 때문에 충분한 설명력을 갖춘 것으로 판단된다.

6. 결 론

과거에는 소수력 자원조사를 위하여 많은 시간과 비용을 들여 답사를 하거나 종이지도에 의존하여 지형분석을 수행하였다. 그러나 이는 광범위한 유역을 분석할 때 장시간을 요하고 객관성이 떨어지는 단점이 있으며, 수작업에 의한 실수와 주관적 판단개입 및 개인오차와 같은 요인들이 분석결과의 신뢰성을 저하시킬 가능성이 크다. 반면, 본 연구의 입지분석 방법은 과거에 비해 광범위한 유역을 빠른 시간 안에 정밀하게 탐색할 수 있었으며 사용자 편의성도 크게 개선한 것으로 판단된다.

다만, GIS 자료 및 도구의 활용은 사용자가 기초적인 이론과 사용방법을 숙지하고 있어야 구현이 가능하며, 각종 수치지도 자료의 정확도가 분석에 큰 영향을 미치므로 자료에 대한 사전 검증도 중요한 부분을 차지할 것으로 판단된다. 향후에는 제약기준과 입지기준이 될 수 있는 요인에 대한 지속적 연구를 통해 공간적인 정밀도를 높일 수 있는 지표를 개발하여 소규모 유역에서도 탐색지점 간에 변별력을 높이는 것도 중요하다.

본 연구는 입지분석의 전 과정을 시스템모형으로 개발함으로써 절차를 체계화 하고 결과의 정밀도를 제고하였다. 이러한 합리성은 소수력 개발시 입지분석을 통한 의사결정 결과에 타당성과 신뢰성을 부여할 것이다.

참 고 문 헌

건설교통부 (2003). **토지적성평가지침**.
과학기술처 (1974). **소수력 발전 입지 조사**, R-74-56.
과학기술처 (1985). **소수력 발전 개발에 관한 연구**.
권영한, 김지영 (2006). **소수력발전소 개발사업의 환경적 고찰**. KEI-2006-WO-14, 한국환경정책·평가연구원.
김태준, 이근상 (2006). "GIS 기반 AHP 기법을 이용한 작물재배 적지분석." **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제26권, 제4D호, pp. 695-702.
배민기, 장병문 (1998). "지리정보체계를 이용한 일반폐기물 매립후보지의 입지선정에 관한 연구." **한국지리정보학회지**, 한국지리정보학회, 제1권, 제2호, pp. 14-25.
양인태, 김응남, 윤영훈 (1993). "토지이용계획에 있어서 GIS의 응용에 관한 연구-쓰레기 매립장의 적지 선정을 중심으로." **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제13권, 제4호, pp. 189-197.
이희연, 임은선 (1999). "쓰레기 소각장 입지선정에 있어서 퍼지집합과 AHP이론의 활용." **한국GIS학회지**, 한국GIS학회, 제7권, 제2호, pp. 223-236.
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.
한국에너지기술연구소 (1992). **소수력 자원의 정밀조사 및 최적개발 분석 연구 (IV)**. KE-92029G.
한혜진 (2002). GIS 와 AHP 이론을 이용한 수변구역 산정에 관한 연구. 석사학위논문, 이화여자대학교.
허윤경 (1997). GIS 환경에서의 다기준의사결정을 이용한 입지분석에 관한 연구. 석사학위논문, 부산대학교.
허준, 장훈, 이현석 (2005). "GIS 기법을 이용한 공공 시설 입지분석 및 타당성 검토." **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제25권, 제2D호, pp. 325-329.
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.
Saraf, A. K., and Kumar, A. (2006). "Spatial technologies in himalayan small hydropower development." *Himalayan Small Hydropower Summit*, October 12-13, Dehradun.
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:07-124/접수:2007.11.09/심사완료:2007.11.30)