

소수력 개발을 위한 적지분석 모형

Site Analysis Model For Small Hydropower Development

김길호* / 이충성** / 이진희*** / 심명필****
Kim, Kil Ho / Yi, Choong Sung / Lee, Jin Hee / Shim, Myung Pil

요 지

에너지 해외 의존도의 경감, 그리고 국제적인 환경규제에 대처하기 위하여 신재생에너지 가운데 하나인 소수력의 개발이 에너지문제의 대안으로서 부각되고 있다. 일반하천에서 소수력의 성공적인 개발을 위해서는 기존의 수자원 개발 계획과 마찬가지로 경제성을 기초로 한 자원의 효율적인 이용 및 개발에 따른 인문·사회·환경적 영향 등과 같은 체계적인 적지분석이 선행되어야 한다. 그리하여 본 연구에서는 소수력 개발 대상 지점에 대한 유황 및 지형분석을 위해 SWAT 모형과 GIS TOOL을 이용하였고, 소수력 모의발전 및 경제성분석에 의해 최적규모를 결정하였다. 그리고 AHP 방법에 의한 평가항목의 가중치 결정 및 대안별 평가에 의해, 보다 합리적인 의사결정을 하고자 하였다. 이러한 일련의 과정을 금강 보청천 유역에 적용하였고, 총 7개의 지점에 대한 개발 우선순위를 도출하였다.

핵심용어 : 소수력, 유황분석, 경제성분석, 의사결정, AHP

1. 서 론

소수력(small hydropower) 발전이란 물의 유동을 이용한 설비용량 10,000kW 이하의 소규모 수력발전을 말한다. 국내의 경우 '05년 12월말 기준으로 41개소, 총 54,089kW 규모의 발전설비를 운영 중에 있으며, 이 가운데 일반하천을 이용한 소수력 발전은 15개소, 기존시설물을 이용한 소수력 발전은 26개소이다(산업자원부, 2006). 본 연구에서의 목적인 소수력 개발 적지분석이란 타당성 있는 어느 지점(입지)들에 대해 보다 정밀하고, 신뢰성 있는 방법론에 의해 분석을 하고, 사업에 영향을 미치는 다양한 기준을 고려해 우선순위를 도출하는 과정을 의미한다.

적지분석을 크게 유황분석, 경제성 분석 및 최적규모결정, 의사결정의 과정으로 세분하였고, 이를 금강 보청천유역의 7개 지점에 적용하였다. 유황분석을 위하여 사용한 SWAT(Soil and Water Assessment Tool) 모형은 미국 농무성 농업연구소(USDA Agricultural Research Service, ARS)의 Arnold 등(1993)에 의해 개발된 것으로 일 단위 모의가 가능한 준분포형 유출모형이다. 이러한 SWAT 모형을 이용한 유황분석과 규모별 모의발전 결과를 이용하여 최적규모를 결정하였다. 여기서 설계유량의 산정을 위해 기존 관련 연구(Fritz, 1984)에서 신뢰도의 개념을 도입하여 설계유량을 선정하였다. 소수력을 비롯한 수자원 개발 사업에서의 최적규모 결정은 개발 비용과 편익이 사업규모의 함수이므로 최적규모를 결정하기 위해서는 경제성분석이 반드시 수행되어야 한다(심명필, 2001). 그러나 기존 소수력 개발 사업의 타당성 분석에는 경제성분석에 너무 치우쳐 사업에 대한 의사결정이 단편적으로 진행되어 왔다. 그리하여 이러한 문제를 개선하고자, 본 연구에서는 소수력 개발 의사결정모형을 개발함에 있어서 평가기준의 가중치 도출을 위하여 계층화분석과정(AHP: Analysis Hierarchy Process)을 이용하였다.

2. SWAT모형을 이용한 장기유출분석

본 연구에서는 SWAT 모형을 이용하여 대상유역인 보청천 유역(유역면적 555.03㎢)에 대하여 그림1과 같은 절차에 의해 장기유출분석을 실시하였다. 1990년부터 1999년까지 총 10년의 자료를 이용하여, 1군데 기상관측소(보은)에서의 기상자료와, 6군데 우량관측소(이원, 동정, 송죽, 보은, 능월, 청산)의 강우자료를 구축하였다. 분석

* 정회원·인하대학교 사회기반시스템공학부 석사과정 E-mail : pravda5419@paran.com
** 정회원·인하대학교 사회기반시스템공학부 석사과정 E-mail : sung@inha.ac.kr
*** 정회원·인하대학교 사회기반시스템공학부 연구교수 E-mail : jhleehy@unitel.co.kr
**** 정회원·인하대학교 사회기반시스템공학부 교수 E-mail : shim@inha.ac.kr

결과의 보정 및 검증에 활용될 유량자료는 소유역 #6의 출구점에 위치한 수위관측소(청성)의 수위자료와 해당 관측소의 수위유량관계식을 이용하였다.

해당 유역의 DEM은 1:25000 수치지형도를 이용하여 구축하였고, 강우/기상관측소의 위치를 고려하여 보청천 본류와 금강 본류의 합류점을 출구지점으로 하는 총 7개의 소유역으로 분할하였다 (그림2). 분할된 소유역을 기준으로 토지이용(종분류 토지피복도)에 따른 토양종류(정밀토양도)에 의해 1500개의 수문반응단위(HRU)로 세분화하였다. SWAT 모형의 적용을 위해 잠재증발산량계산은 Penman-Monteith 방법과 하도추적은 Muskingum Routing 방법을 이용하였다.

매개변수 추정을 위하여 Latin Hypercube(LH) 표본추출법과 One-Factor-At-a-Time(OAT) 방법의 장점을 결합한 LH-OAT 민감도분석을 실시하였고, 주요 매개변수에 대한 민감도를 식1에 의해 결정하였다(표1). 홍수와 가뭄이 적절히 발생한 1995년 사상에 대해 결정된 매개변수에 의해 보정을 하였고, 1999년 사상에 대해 검증을 거쳐 지점별 장기 유출량을 산정하였다.

$$E_i = \frac{\Delta y_i}{\Delta x_i} \quad \text{식(1)}$$

여기서, i : 구간수,

Δx_i : i 구간에 대한 매개변수의 변화량,

Δy_i : i 구간에 대한 유출량의 변화

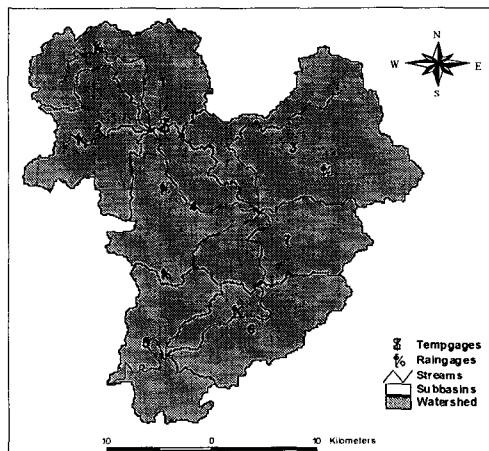


그림 2. 기상/강우관측소의 위치

Parameter	rank	mean	maximum	variance
CN2	1	0.807	1.630	0.199
ESCO	2	0.671	2.945	0.776
SOL_Z	3	0.350	0.599	0.035
CH_K2	4	0.281	0.491	0.019
ALPHA_BF	5	0.242	0.757	0.050
CH_N	6	0.232	0.303	0.002
SOL_AWC	7	0.220	0.540	0.019
SOL_K	8	0.168	0.236	0.002
TIMP	9	0.130	1.063	0.109
SLOPE	10	0.088	0.187	0.002

표 1. LAT-OA방법에 의한 민감도분석 결과(관측값 고려)

3. 최적규모의 결정

소수력 개발의 최적규모의 결정을 위해 유황분석 초기자료인 1990년 자료를 제외한 1991~1999년의 분석결과를 토대로 규모에 따른 소수력 모의발전을 하였다. 소수력 모의발전은 식2와 같은 연속방정식으로부터 일단의 축차계산에 의해 산정하였다.

$$dS = I - O - L \quad \text{식(2)}$$

여기서, dS : 저류량의 변화

I: 유입량

O: 발전유량

L: 손실량(총발산, 월류량, 하천유지유량 등)

댐높이는 소수력의 설비용량 한계인 10,000kW라는 점을 고려하여 댐높이 5m, 10m, 15m, 20m에 따른 저수용량과 낙차의 변화에 따른 모의발전을 하였고, 수로길이는 국내 건설된 수로식 소수력발전소의 수로길이를 고려하여 100m~2000m를 적용하였다. 또한 모의발전시 갈수량에 해당하는 하천유지유량을 고려하였고, 소수력 형태에 따라 일정 신뢰도를 만족시키는 설계유량을 결정하였다. 결정된 설비용량으로부터 년평균 전력생산량을 산정하여 현재 전력구매단가인 94.64원/kWh를 곱하여 연평등편익을 산정하였다. 소수력 개발비용은 국내 일반하천을 이용한 주요 소수력발전소(12개소 이용)의 공사비용(한국전력공사, 1993)에서 소비자물가지수(2007년 2월 기준)를 고려하여 식3과 같은 댐높이, 설비용량, 수로길이에 따른 소수력 개발비용의 회귀식을 도출하였다.

$$y = 1063.580 + 1.995C + H^{2.588} + L^{0.915} \quad \text{식 (3)}$$

여기서, H: 댐 높이(m)

C: 설비용량(kW)

L: 수로길이(m)

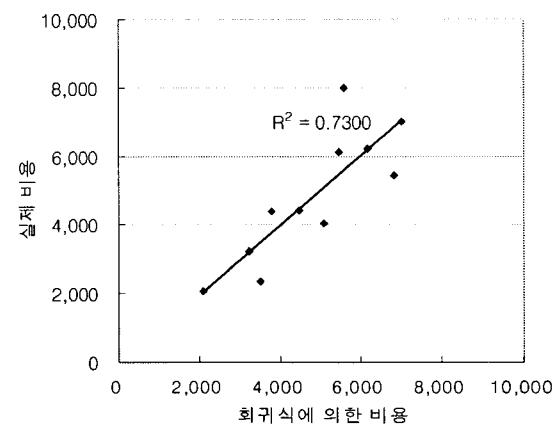
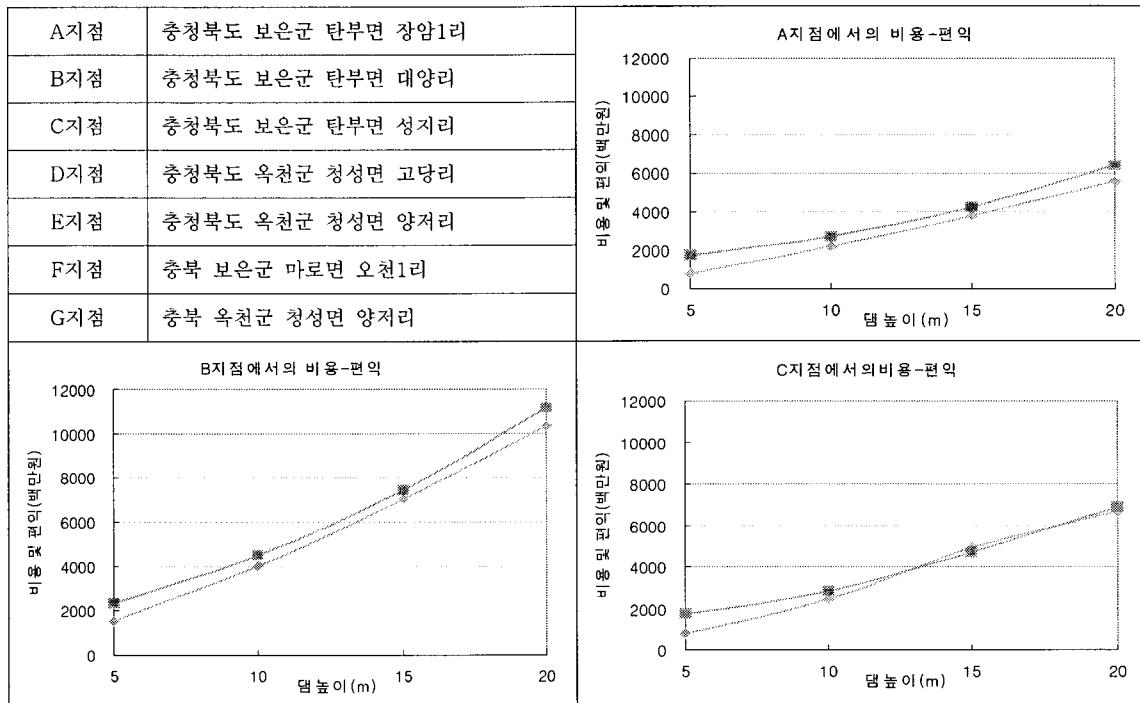


그림 3. 회귀식에 의한 비용과 실제 비용과의 비교

각각의 지점에 대한 최적규모는 경제성지표 가운데 하나인 순편익(NPV)이 가장 큰 규모를 결정하였다(표3).



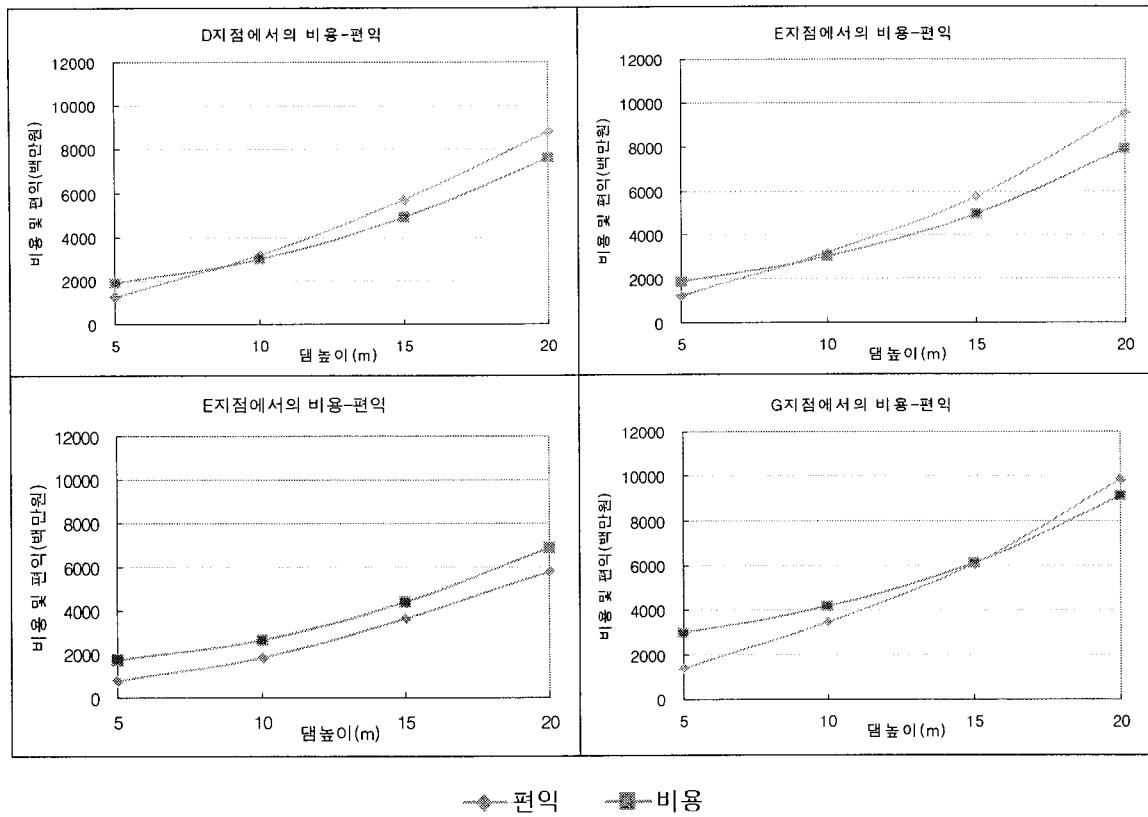


표 2. 보청천 유역 7개 지점에서의 비용-편익

4. AHP에 의한 우선순위 결정

소수력 개발 의사결정모형을 개발함에 있어서 계층화분석과정(AHP)을 이용하여 평가기준의 가중치(상대적 중요도) 도출하였다. 그림 4와 같이 제 1계층에는 기술 경제적 분석과 정책적 분석, 제 2계층에는 경제성, 연계성, 분쟁가능성, 지속가능성으로 구분하였고, 세부기준 및 평가 척도는 표 4와 같다. 전문가 설문은 몇 차례 소수력 개발 사업의 경험 있는 전문가(5인)로 구성하였다.

세부 기준	평가 척도
경제성분석	경제성분석 지표 (B/C)
도로접근성	기존 도로와 지점과의 거리
기존시설물과의 연계	지점 주변의 기존시설물의 유무
주거현황	행정구역 면적 당 인구밀도
수자원 이용현황	토지피복도에 의한 지점으로부터 반경 2km 농업 및 산업지역의 면적
환경생태적 지속가능성	국토환경성평가도의 등급(1 ~ 5등급) 별 지점으로부터 반경 2km 점유면적
사회적 지속가능성	지점으로부터 반경 50km내 관광자원의 개소
경제적 지속가능성	연평균 전력 생산량(발전수익)

표 3. 세부기준의 평가 척도

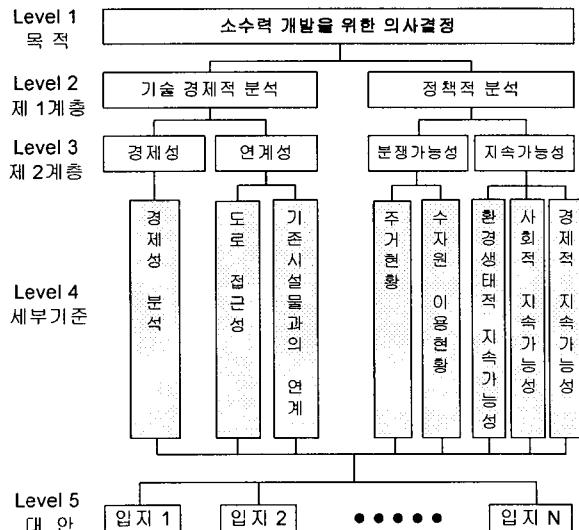


그림 4. 소수력 개발을 위한 AHP 계층도

분석된 결과에 의하면, 기술 경제적 분석에서의 가중치는 경제성분석이 0.481, 도로접근성이 0.023, 기존시설물과의 연계가 0.059으로 나왔으며, 정책성분석의 경우 주거현황이 0.178, 수자원이용현황이 0.178, 환경생태적 지속가능성이 0.023, 사회적지속가능성이 0.036, 경제적 지속가능성이 0.022로 나타났다. 도출된 가중치와 보청천 유역에서의 7개 지점에 대한 세부 기준별 평가를 통한 결과는 표4와 같다.

평가기준	가중치	점수	A	B	C	D	E	F	G	
경제성분석	0.481	원점수	0.900	0.940	1.050	1.150	1.200	0.840	1.080	
		정규화점수	0.126	0.131	0.147	0.161	0.168	0.117	0.151	
도로접근성	0.023	원점수	0.030	0.073	0.076	0.025	0.308	0.039	0.026	
		정규화점수	0.199	0.082	0.079	0.239	0.019	0.153	0.230	
기존시설물과의 연계	0.059	원점수	0	0	0	0	0	1	1	
		정규화점수	0	0	0	0	0	0.5	0.5	
주거현황	0.178	원점수	90.16	54.43	37.79	33.46	33.46	29.91	33.46	
		정규화점수	0.288	0.174	0.121	0.107	0.107	0.096	0.107	
수자원이용현황	0.178	원점수	62.53	40.59	53.88	10.28	13.20	24.51	8.41	
		정규화점수	0.293	0.190	0.252	0.048	0.062	0.115	0.039	
환경생태적 지속가능성	0.023	원점수	100.00	72.06	89.87	33.14	39.59	57.06	30.84	
		정규화점수	0.237	0.171	0.213	0.078	0.094	0.135	0.073	
사회적 지속가능성	0.036	원점수	13	13	13	10	10	13	10	
		정규화점수	0.159	0.159	0.159	0.122	0.122	0.159	0.122	
경제적 지속가능성	0.022	원점수	3,167,885	5,556,163	4,085,704	7,315,872	7,916,608	4,830,733	8,219,524	
		정규화점수	0.077	0.135	0.099	0.178	0.193	0.118	0.200	
총 점		0.181	0.215	0.170	0.121	0.102	0.0946	0.370		
RANK		3	2	4	5	6	7	1		

표 4. 지점별 세부 평가기준에 의한 개발 우선순위 도출

5. 결 론

본 연구에서는 대상 지점(입지)에서의 장기유출분석, 발전모의, 경제성분석, 최적규모결정의 일련의 과정을 통해 AHP를 이용한 의사결정모형을 이용하여 지점별 개발 우선순위를 도출하였다. SWAT 모형을 이용하여 장기유출분석을 함으로써, 미계측유역에서의 일단위의 보다 정밀한 유황의 변화를 모의할 수 있었다. 또한 지점에서의 신뢰도 개념을 도입하여 설계유량의 선정하였고, 경제성분석시 공사비용의 산출을 위해 땅의 높이, 수로길이, 시설용량에 따른 공사비용의 회귀식을 산정하였다. 또한 기존의 소수력 개발 사업에서 경제성분석에만 주로 의존하던 의사결정의 단계에서 AHP를 도입하여 인문·사회·환경적인 요소를 함께 검토하였고, 평가기준 가운데 경제성분석(B/C)이 가장 큰 비중을 차지하였고, 주거현황과 수자원 이용현황 또한 상당부분 영향이 있었다. 그러나 분석방법에 대한 추가적인 검증과 여러 지점들 간에 변별력을 높이기 위해 평가기준의 정밀도를 높이는 추가연구는 필요하다고 판단된다.

참 고 문 헌

- 한국전력공사(1993). 수력발전소자료집
- 산업자원부(2006). 신재생에너지 발전차액지원제도 개선 및 RPS제도와 연계방안
- 심명필(2001) 수자원 경제성분석 입문(10). 한국수자원학회, 한국수자원학회지, 제34권, 제6호, pp. 75-83
- Jack J. Fritz(1984). Small and mini hydropower systems. McGraw-hill
- Arnold, J.G., Allen, P.M., and Bernhardt, G. (1993). "A comprehensive surface-groundwater flow model." Jurnal of Hydrology, ELSEVIER, 142, pp. 47-69