

경북북부지역 소수력 재생에너지 자원조사

2. 경제성분석

Research on the Small Hydropower Renewable Energy Resources in Northern Gyeong-Buk

2. Economic Analysis

김정헌* · 황종규** · 김성원***

Abstract

본 연구에서는 경상북도 북부지역의 5개의 소수력발전 후보지점을 설정하였으며, 5개 후보지점에 대하여 설치가능한 소수력 발전시설은 지형학적 측면을 비롯하여 다양한 타당성 검토를 통하여 댐식 소수력 발전시설이 타당한 것으로 분석되었다. 5개 후보지점에서 설정된 유량지속곡선을 이용하여 발전용량을 산정하고 수차를 선정하였다. 따라서 산정된 발전용량을 편익비용 분석법과 내부수익률 분석법을 이용하여 경제성분석을 실시하였다. 본 연구에서는 3개의 소수력발전 후보지점(경상북도 봉화군 명호면, 경상북도 영주시 문수면 권선리, 경상북도 예천군 형호리)이 B/C 비율이 1이상으로 경제성이 있는 것으로 분석되었으나, 설비용량 500kW 이상인 최적 개발후보지는 경상북도 영양군 입암면 후보지점인 것으로 나타났다.

핵심용어 : 소수력발전, 발전용량, 경제성분석, 편익비용 분석법, 내부수익률 분석법

1. 서론

신·재생에너지는 석유나 석탄과 같은 화석에너지가 머지않아 고갈될 것이라는 예측과 화석에너지의 사용으로 인하여 생기는 이산화탄소와 같은 온실효과 가스가 지구온난화를 심화시키고 이것은 대형 홍수와 국지적 집중호우, 가뭄과 전염병, 기근 등 우리인류의 생존을 위협하는 재앙을 계속 되풀이하게 할 것이라고 경고하고 있다. 이러한 심각한 상황에 대처하기 위하여 전 세계적인 협동체제가 가동되기 시작하였는데, 1988년 11월에는 세계기상기구(WMO)와 국제연합환경계획(UNEP)의 공동개최로 유엔 산하 국제 협의체인 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)가 설립되었다. 2006년 5월 산업자원부 보고서에 따르면 현재로서는 비용구조상 신재생에너지가 비싼 것으로 나타나지만, 장기적인 사회적 비용 구조를 감안한다면 사정이 달라진다. 신재생에너지기술에 의한 에너지생산과 사용은 외부비용의 문제가 없고, 장기적으로는 기술진보와 이의 상용화에 따라 비용이 감소하게 되어 기존기술과의 경쟁에서 우위를 점하게 될 것이라는 지적이다.

풍력과 같은 일부 신재생에너지원의 경우 이미 전통에너지와 경쟁할 수 있으며, 전통에너지원에 외부비용이 반영되면 신재생에너지가 더 값이 싸게 된다고 지적하고 있다. 본 과업에서는 신재생에너지 중 소수력 발전에 대한 기존 연구 보고서 및 논문들을 검토 분석하여 가장 적절한 비용 및 수익 산정과 경제성 분석 방법을 제시하여 본 과업에서 선정된 소수력발전 지점의 경제성 분석을 하였다. 특히, 소수력발전의 자원경제성을 나타내는 발전량을 도출해 내는데 초점을 맞추어 자원경제성이 상대적으로 높은 소수력발전 5개의 후보지점들의 추정된 비용대비 수익 B/C, 내부수익률, 순 현재가치를 사용하여 경제성 사례 비교 분석을 하였다.

2 경제성 분석방법

경제성 분석기법은 신재생에너지기술에 대한 평가를 비용 또는 기술과 편익(수익)과의 대비로 잡아 경제적 입장에서 평가하는 방법으로 각 과업에 대한 경제성 평가에 사용한다. 현재가치법, 연간등가법, 비용/편익 분석법, 내부 수익률 분석법 등의 다양한 경제성 공학적인 기법이 사용될 수 있다. 그리고 수리적 모형에 의한 경우는 의사결정에 필요한 모든 사항을 수학적 모형으로 표현함으로써 다차원적이고도 동적으로 요인을 변화시켜 과업의 장래를 예측하고 평가하는 방법이다. 대표적인 기법으로는 선형계획법(Linear programming), 동적 계획법(Dynamic programming), 시뮬레이션(Simulation) 방법이 사용된다. 구체적인 평가기법의 선택은 평가의 대상, 관련 데이터의 확보가능성 및 평가능력 등의 특성을 고려하여 선택할 수 있다(산업자원부 보고서, 2006). 본 과업에서는 소수력발전 경제성 분석을 위하여 편익 비용 분석법을 적용하여 소수력 경제성 분석을 시도하였다.

※ 정회원, 동양대학교 대학원 철도토목학과 석사수료 ; E-mail : idiunu@hanmail.net

※※ 비회원, 행정학박사, 동양대학교 행정경찰학부 부교수 ; E-mail : jkhwang@dyu.ac.kr

※※※ 정회원, 공학박사, 수자원개발기술사, 동양대학교 철도토목학과 부교수 ; E-mail : swkim1968@dyu.ac.kr

2.1 편익비용 분석법

과업의 투자비용과 발생 가능한 편익들을 비교 분석하는 것이 편익-비용분석(Benefit-cost analysis)기법의 중요한 내용이다. 편익-비용분석을 수행하기 위한 과정은 다음과 같다.

- 가. 과업으로부터 발생하는 모든 편익과 불편익을 파악한다.
- 나. 다른 종류의 편익들이 서로 비교 가능하도록 하고, 그러한 편익을 달성하기 위해 사용된 비용에 대해서도 서로 비교 가능하도록 가능한 한 모든 편익과 불편익을 화폐가치로 수치화한다.
- 다. 비용을 파악하여 수치화한다.
- 라. 모든 비용을 화폐가치로 수치화하여 비교 가능하도록 한다.
- 마. 과업에 합당한 할인율을 적용하여 순편익과 비용을 기준년도의 화폐가치로 변환한다.
- 바. 만일 순편익이 순 비용을 상회하게 되면 과업을 실행한다. 과업의 경제적 가치는 B/C비율(Benefit-Cost Ratio : BCR)로 나타낼 수 있으며, 이 B/C비율은 편익(B)과 비용(C)을 비교하는 것이다. 편익비용 분석법에서 과업의 편익과 비용의 현재가치를 각각 B와 C로 나타내면 다음 식(1) 및 (2)와 같다.

$$B = \sum_{n=0}^N b_n (1+i)^{-n} \quad \dots (1)$$

$$C = \sum_{n=0}^N c_n (1+i)^{-n} \quad \dots (2)$$

여기서 $b_n = n$ 기간 말의 편익($b_n \geq 0$), $c_n = n$ 기간 말의 비용($c_n \geq 0$), $N =$ 과업 사용기간이고 $i =$ 이자율(할인율)에 해당된다. 비용(C)은 투자비용(I)과 운영비용(C')으로 구성된다. 처음 K기간 동안 초기투자가 연속적으로 발생되고, 그 후 매년 운영 및 유지비용이 발생한다고 가정하자. 각 비용요소의 현재가치는 다음 식(3)과 (4)와 같다.

$$I = \sum_{n=0}^K c_n (1+i)^{-n} \quad \dots (3)$$

$$C' = \sum_{n=K+1}^N c_n (1+i)^{-n} \quad \dots (4)$$

여기서 총비용의 현재가치는 $C = I + C'$ 이다. 위 내용을 요약하면 다음 식(5)와 같다.

$$B/C(i) = \frac{B}{C} = \frac{B}{I+C'}, I+C' > 0 \quad \dots (5)$$

여기서 과업을 수행하기 위해서는 과업의 BC(i)값이 “1”보다 커야 한다.

2.2 내부 수익률 분석법

수익률은 고업 현금유출의 현재가치와 현금유입의 현재가치를 동일하게 만들어 주는 순익분기점 이자율이다. 내부수익률(Internal rate of return, IRR)은 과업이 종료되었을 때 해당 과업의 투자원금이 모두 회수되도록 과업의 미회수 투자원금 잔액에 부과된 이자율이다. 이 수익률은 과업 내부에 존재하는 미회수 잔액에 관한 수익이기 때문에 이를 내부수익률이라 하고, 간략히 IRR이라 한다. 이는 투자회사가 과업에 대한 투자로부터 초기 투자자본 1,000만원을 3년 동안 완전히 회수하고, 또한 회수되지 않은 투자원금에 대해 (만약 IRR이 10%이면) 10%의 수익을 얻고 있음을 의미하는 것이다. 이를 달리 표현하면, 연간 10%의 이자율로 조달된 자금을 이용하여 과업에 투자했을 경우, 3년 동안 이 투자에 의하여 창출된 현금으로 투자자본의 원금과 이자를 충분히 상환할 수 있다는 것이다.

수익률분석도 현재가치분석이나 연간등가분석과 같이 과업의 경제적 가치를 측정하는 한 방법이다. 현재가치분석 방법이 계산상의 편의성과 광범위한 응용성을 가지고 있음은 분명한 사실이다. 그럼에도 불구하고 상대적 가치로 계산된 수익률 분석이 절대가치로 갠나된 현재가치분석보다 이해하기가 더 용이하기 때문에 많은 엔지니어들이나 금융투자 고나리자들은 과업의 경제성 분석을 수행하기 위해 수익률분석을 더 선호하고 있다.

단순투자에 있어서 수익률 I는 과업의 IRR값이 된다. 이 방법을 옹게 적용하기 위해서 단순히 I 값을 아는 것으로 충분하다고 할 수 없다. 일반적으로 기업들은 과업의 현재가치가 “0”보다 큰 수익을 얻기 원하기 때문에, 기업의 최고 경영자나 투자 의사결정자들은 최소요구수익률(Minimum attractive rate of return, MARR)을 설정하여 이를 과업의 채택여부에 관한 의사결정 기준으로 삼는다. 만일 IRR이 이렇게 설정된 MARR보다 크면 기업은 순익분기점보다 큰 수익을 올리게 되는 것이다. 이 때 단순투자에 의한 의사결정규칙은 다음과 같다.

- IRR > MARR 이면, 과업 채택
- IRR < MARR 이면, 과업 기각
- IRR = MARR 이면, 의사결정 무차별

3. 소수력발전 경제성분석 자료조사 및 분석

신재생에너지 원별 경제성 분석(김진오 외 2인, 에너지경제연구원, 2005)에서 소수력 발전 원가 산정을 위한 비용부문

중 투자비용도 발전소 건설 위치에 따라서 많은 차이를 보인다. 대체로 소수력발전소 건설비용은 입지가 무난한 지역이면, 3,000kW급을 기준으로 1kW당 2,700~3,000천원이 소요되는 것으로 나타나고 있으며, 설비수명은 토목 부문은 50년 그리고 기전부문은 30년으로 평가하고 있다. 소수력발전소 건설은 크게 토목부문과 기전부문으로 나뉘는데, 특별한 경우가 아니면 총 건설비용의 약 60%가 토목부문에 투입되면 40%가 기전부문에 소요되는 것으로 나타나고 있다. 운영비는 초기투자비의 3.63%를 적용하였고 가동률은 경북지역 평균 가동률 30%로 산정하였다. 신천하수종합처리시설 소수력발전 적용검토(남광현, 대구경북개발연구원, 2002)에 따르면 소수력 발전의 공사비는 일반적으로 토목, 건축, 기계 및 전기 분야로 크게 나뉘어지고, 여기에 설계비 및 감리비, 예비비를 추가하여 산정하게 되는데, 각 지점에 설치할 경우에 대하여 대략적인 공사비를 산정하였는데, 각 부분별 개략공사비는 국내·외 유사사업의 적용사례를 참고하였고 현지여건을 고려하여 대략적인 공사물량을 산출하였다. 다른 연구 자료와는 다르게 이 보고서에서는 전체 공사비 중에서 가장 많은 비용을 차지하는 것은 기계설비라고 분석하였다. 또한 본 과제에서는 적절한 할인율의 크기 결정이 매우 중요한 과제라고 언급하면서도 5%를 적용하였다. 또 다른 특징은 연간 경비를 계산할 때 토목 부분은 50년, 기전 부분을 30년으로 분리 적용하였다.

4. 소수력발전 후보지의 경제성 비교분석

다음 <표 1>은 소수력발전소 후보지인 5개 지점의 최적 값에 해당되는 설비용량, 가동률, 추정공사비, 경제성 평가기준을 적용했을 때 순현재가치(Net present value, NPV), 편익/비용 분석(B/C) 및 내부수익률(Internal rate of return, IRR)을 나타내었다. <표 1>에 의하면 경상북도 예천군 형호리와 경상북도 영주시 문수면 권선리 후보지가 가장 경제성이 높았고, 다음으로 경상북도 봉화군 명호면, 경상북도 영양군 입암면, 경상북도 봉화군 현동역의 순서를 나타내고 있다. 그러나 소수력발전소 후보지 중 설비용량 500kW 이하의 경우 개발시 소용량으로 인해 개발효과가 없을 것으로 판단되며, 설비용량 500kW 이상인 최적 개발 후보지는 경상북도 영양군 입암면 후보지 1개소인 것으로 나타났다(Kim et al, 2010).

<표 1> 소수력발전 각 지점별 최적 경제성 비교 분석표

지점	설비용량 (kW)	연간발전량 (MWh)	가동률 (%)	추정공사비 (억원)	순현재가치 NPV(억원)	B/C	IRR(%)
명호면	343	900.8	30.0	9.42	0.10	1.01	7.12
현동역 앞	267	700.9	30.0	7.85	-0.50	0.93	6.30
권선리※	237	623.1	30.0	6.31	4.45	1.05	7.43
입암면	1,924	5,057.3	30.0	54.61	-1.34	0.97	6.73
형호리	168	440.2	30.0	4.45	0.21	1.05	7.52

※ 수문분석 자료 신뢰성 제고를 위해 권선리의 경우 확률유량 40%시 적용

다음 <표 2>에 의하면 경상북도 예천군 형호리와 경상북도 영주시 문수면 권선리 후보지가 가장 경제성이 높았고, 다음으로 경상북도 봉화군 명호면의 순서를 나타내고 있다. 그러나 소수력발전소 후보지 중 설비용량 500kW 이하의 경우 개발시 소용량으로 인해 개발효과가 없을 것으로 판단되며, 설비용량 500kW 이상인 최적 후보지는 경상북도 영양군 입암면 후보지 1개소인 것으로 나타났다. 또한 발전방식으로는 경상북도 봉화군 명호면, 경상북도 영주시 문수면 권선리 및 경상북도 예천군 형호리의 경우 댐식이 가장 적합할 것으로 조사되었다(김성원과 황종규, 2010).

전력계통 연계측면에서 B/C 값이 1이상인 가동률 30%를 기준으로 할 때 경상북도 봉화군 명호면, 경상북도 영주시 문수면 권선리 및 경상북도 예천군 형호리의 입지 근거리에서 3상 22.9kV 배전선로가 존재하며, 발전설비의 예상 최대 생산량이 3MW를 초과하지 않으므로 기존 배전선로를 공유하여 사용할 수 있는 것으로 분석되었다.

<표 2> 소수력발전소 후보지의 기본 설계제원

지점 구분	경상북도 봉화군	경상북도 영주시 문수면	경상북도 예천군
위치	명호면	권선리	형호리
가동률(%)	30	30	30
유효낙차(m)	5.5	4.5	4.0
설계유량(m ³ /sec)	10.93	6.72	6.53
설비용량(kW)	471	237	205

연간발전량(MWh/년)	1,238.6	623.1	538.2
수 차	프로펠러(튜브형) 510kW×1기	프로펠러(튜브형) 259kW×1기	프로펠러(튜브형) 259kW×1기
발전기	3상 농형 유도발전기 501kW×1기	3상 농형 유도발전기 244kW×1기	3상 농형 유도발전기 244kW×1기
발전방식	댐식	댐식	댐식
추정공사비(억원)	12.95	6.31	5.45
발전단가(원/kWh)	137.62	137.62	137.62
전기판매액(억원/년)	1.70	0.86	0.74
B/C 비	1.01	1.05	1.05
계통연계	문제없음	문제없음	문제없음
민원/환경	환경문제제시	거주민이 많아서 민원발생	문제없음
경제성 우선순위	3	2	1
민원/환경고려시 개발우선순위	2	3	1

5. 결 론

신재생에너지가 현 시점에서 전통적인 화석연료와 비교할 때 경제성이 상대적으로 부족한 것은 사실이다. 그럼에도 불구하고 국제 기후변화협약에서 요구하는 온실가스 배출감축과 배출권 확보의 필요성 때문에 신재생에너지 발전은 세계 각국에서 선택이 불가피하다.

본 사업에서 3개 후보지점이 B/C 비율이 1이상으로 경제성이 있는 것으로 분석되었으나, 500kW 이상인 최적 개발 후보지는 경상북도 영양군 입암면 후보지 1개소인 것으로 나타났다. 그러나 소수력발전의 경우 환율과 유가 등 원자재 비용의 변동이 심하여 경제성의 불확실성이 높은 편이다. 앞으로 기술개발 등을 통하여 기초사업비가 감소할 것이고 현재 보다 발전효율이 높은 발전기의 개발로 똑같은 자원경제성에서 더 많은 전력을 생산할 수 있게 됨으로써 경제성이 높아질 것으로 기대한다. 또한, 임의 지점의 소수력발전 경제성을 평가할 때 정량적인 평가와 더불어 예상지점의 민원 가능성과 인허가 문제 및 교통여건 등 정성적인 평가요소도 함께 고려하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

감 사 의 글

본 연구는 한국중부발전(주)의 “경북북부지역 신재생에너지 자원조사 및 활용방안 연구” 사업과제의 연구비 지원에 의하여 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 김성원, 황종규 (2011) “댐식 소수력발전 시설의 경제성 분석” **한국습지학회 학술발표회 논문집**, pp. 171-175
2. 김진오, 김정완, 부경진 (2005) “신-재생에너지 원별 경제성 분석”, 제1권, 제1호, 신재생에너지.
3. 대구경북개발연구원 (2002) “신천하수종말처리시설 소수력발전 적용 검토보고서”.
4. 산업자원부 (2006), 신재생에너지시스템 경제성 분석 프로그램 개발 및 적용방안 보고서
5. Kim, J.H., Kim, D.H. and Kim, S.(2010) Research on the Small Hydropower Renewable Energy in Northern Gyeong-Buk Area, Dongyang Hydrologic Paper, No. 1, Department of Railroad and Civil Engineering, Dongyang University, Yeongju, Republic of Korea. (In Korean)