

댐체 관개용수를 활용한 초소수력발전에 관한 연구

이동희, 양현식, 홍영철
한국수자원공사

The Study on micro-hydropower used surplus water resources on the dam

Dong-Hee, Lee Hyun-Sik, Yang Young-Chul, Hong
K-water(Korea Water Resources Corporation)

Abstract - 댐체를 통해 하류 관개용수로 무효방류되는 수자원을 활용한 초소수력 발전가능성에 관한 고찰을 통해 개발 가능한 신재생 에너지 발굴 및 경제성과 타당성에 대하여 검증해 보고자 한다.

1. 서 론

현재 댐을 이용한 대규모의 수력발전은 포화상태로 더 이상 입지를 확보할 수 없는 상태이며, 원자력발전소의 안정성과 화력발전소의 환경오염문제로 정부와 민간단체는 어느 때 보다도 신재생에너지 개발에 관심이 고조되고 있는 상황이다. 이에 따라, 대체에너지원으로서의 초소수력발전은 하수종말처리장, 농업용 저수지, 수도사업장의 취수장, 정수장 등 저 낙차 유휴에너지를 활용할 수 있어서 친환경적이고 지역개발 촉진과 함께 경제적 효과도 기대된다. 본 논문에서는 섬진강댐의 댐체를 관통하여 하천유지용수로 무효 방류되고 있는 잉여수자원을 활용한 초소수력 발전의 개발 가능성을 분석하고자 한다.

2. 본 론

2.1 초소수력 개발 배경

소수력발전은 물의 유동을 이용한 시설용량 10,000kW이하의 수력발전을 말하며, 소수력발전을 설비용량으로 구분하면 <표 1>과 같다.

<표 1> 설비용량별 구분

분 류		비 고
설비용량	<ul style="list-style-type: none"> • Micro hydropower • Mini hydropower • Small hydropower 	<ul style="list-style-type: none"> • 100kW 미만, • 100~1,000kW, • 1,000~10,000kW
낙차	<ul style="list-style-type: none"> • 저낙차(Low head) • 중낙차 (Medium head), • 고낙차(High head) 	<ul style="list-style-type: none"> • 2~20m • 20~150m • 150m 이상
발전방식	<ul style="list-style-type: none"> • 수로식 (run-of-river type) • 댐식 (Storage type) • 터널식 (Tunnel type) 	<ul style="list-style-type: none"> • 하천경사가 급한 중·상류지역 • 하천경사가 작고 유량이 큰 지점 • 하천의 형태가 오메가(Ω)인 지점

섬진강다목적댐은 현재 유역변경을 통해 동진강유역의 관개용수, 광역상수도 및 발전용수(섬진강 수력발전소, 시설용량 34,800kW)를 공급하고 있으며 댐 하류측(섬진강유역)으로는 River-Outlet 밸브를 통해 댐 하류지역 하천유지용수를 공급하고 있다. 하천유지용수는 최소 일 12,960m³이나 하류상황 또는 계절별(특히 관개기)로 최대 86,400m³까지 가능하도록 되어있다. 그러나 River-Outlet밸브를 통하여 하류에 공급되는 용수는 무효방류되고 있는 실정이다.

따라서, River-Outlet밸브를 통하여 무효방류되고 있는 하천유지용수를 효과적으로 이용할 수 있는 방안으로, 방류구에 Micro-수력(이하 초소수력)을 적용할 경우 경제성 및 타당성을 검토하여 보고자 한다.

2.2 시설현황

섬진강댐은 섬진강분류로써 유역면적은 763km²이고, 저수면적 26.5km², 총저수용량은 466백만m³이다. 유효저수용량은 429백만m³이고 저수위는 EL. 161.90m로 설정하고 있다. 강우량은 아래와 같다.

- 연평균 강우량 : 1,379.2mm
- 연평균 유입량 : 15.8cms
- 연간용수공급량 : 385.3백만m³/년
 - 농업용수 : 350백만m³/년
 - 섬진강 광역 : 27.4백만m³/년
 - 댐하류 유지용수 : 7.9백만m³/년(21,000m³/일)

섬진강본댐 River Outlet 방류수는 재개발 사업 후 신설 공급관로를 통해 댐 직하류 친환경공원의 인공폭포를 경유하여 섬진강댐 하류로 공급되며, 공급량은 계절별로 0.15~0.50m³/sec 범위이다. 방류구는 댐 본체에 300mm 관을 뚫어 관을 통하여 하류로 방류하고 있다.

2.3 발전유량 분석

본 논문에서 이수측면 분석시 섬진강유역 적용 저수위는 모든 수위 범위에서 하류측 계획공급량을 만족시킬 수 있는 EL.166.9m(EL.165.0m)를 적용하였다.

방류수의 낙차범위는 최저5m(저수위EL.166.9m) ~ 최고37.7m(계획홍수위EL.199.6m)로써 발전가능성이 충분하다고 예측된다.



<그림 1> 섬진강댐 방류구 위치



<그림 2> 섬진강댐 방류구 사진

초소수력발전 사용수량(인공폭포 사용수량)은 공급우선순위(발전용수 우선, 인공폭포 운영수량 차선)를 고려하여 산정하였으며 주간은 인공폭포의 경관적 요소를 고려하여 아침 09:00~저녁 06:00까지 9시간 동안을 의미한다. 공급되는 하류하천유지용수는 방류설비에 의해 최소 12,960m³/day(0.15cms)를 방류하며, 최대 86,400m³/day (1.0cms)를 방류할 수 있다.

2.4 적용가능 발전설비 분석

현재까지 운영된 수위를 기준으로 용량을 분석하면,

$$P = 9.8QH_n \text{ (kW)} \quad (1)$$

종합효율을 75%로 가정하면,

$$P_{\min} = 9.8 \times 0.15 \times 24.2 \times 0.75 = 26.7kW \quad (2)$$

$$P_{\max} = 9.8 \times 0.5 \times 24.2 \times 0.75 = 88.9kW \quad (3)$$

<표 2> 연간 가능 사용수량

계절	월	하류 총공급량	인공폭포 계획수량		최종 배분량			
			주간	야간	폭포	발전소	폭포	발전소
겨울	1	4.55	0.15	0.15	0.15	4.40	0.15	4.40
	2	3.60	0.15	0.15	0.15	3.45	0.15	3.45
봄	3	1.35	0.50	0.15	0.50	0.85	0.15	1.20
	4	1.68	0.50	0.15	0.50	1.18	0.15	1.53
여름	5	1.69	0.50	0.15	0.50	1.19	0.15	1.54
	6	2.03	0.50	0.15	0.50	1.53	0.15	1.88
가을	7	1.11	0.50	0.15	0.50	0.61	0.15	0.96
	8	0.77	0.50	0.15	0.37	0.40	0.15	0.62
겨울	9	1.87	0.50	0.15	0.50	1.37	0.15	1.72
	10	3.17	0.50	0.15	0.50	2.67	0.15	3.02
겨울	11	3.13	0.50	0.15	0.50	2.63	0.15	2.98
	12	2.89	0.15	0.15	0.15	2.74	0.15	2.74

위 식에서 하천유지 용수량에 따라 출력의 차가 상당함을 알 수 있으며, 본 논문에서는 50kW의 수차발전기에 대해 사용수량별 발전량을 검토하고자 한다.

수차형식선정의 첫 번째 기준은 낙차이며 유효낙차 24.2m에서 적용 가능한 수차형식은 Kaplan, Propeller, Cross-flow, Bulb 수차가 적용 가능하나 저낙차, 저유량에서 적용에 유리한 Kaplan 형식의 Bulb와 Tubular 수차 중에서 경제적으로 유리한 횡축 Tubular수차의 적용이 타당하다고 판단된다.

<표 3> 낙차범위(Range of heads)

수차형식(Turbine type)	낙차범위
Kaplan and Propeller	2<Hn<40
Francis	25<Hn<350
Pelton	50<Hn<1300
Crossflow	5<Hn<200
Turgo	50<Hn<250

(출처 : Guide on How to Develop a Small Hydropower Plant)

연간발전량 산출은 다음 같은 관계식으로 산출하였으며,

$$P_y = \sum_i^n P_i \cdot N_i \quad (4)$$

여기서, P_y : 연간발전량(kWh)
 P_i : 가능출력(kW)
 N_i : 발전가능시간(hr)

발전 출력산출에서 종합효율은 75.0%로 가정하였으며 방류량에 따라 발전량이 변화하므로 계절별, 주야간의 방류량을 고려하여 산출하였다.

2.5 경제성 분석

경제성 평가는 기술적, 경제적 타당성을 토대로 최적의 소수력 발전소 규모를 선정하기 위해 건전한 공학적 판단을 실시하는데 그 목적이 있다. 따라서, 연간발전소 운영비 즉, 연간경비를 연간발전량으로 나눈 값으로 소수력 발전소의 경제성 검토의 기준이 되는 발전원가와 대부분의 공공부문 투자사업에서 일반적인 경제분석 평가방법인 순현재가치, 비용편익비 및 내부수익률 등을 산정하여 경제성 평가를 실시하였다.

<표 4> 국내외 적용 발전설비별 내용연수

구분	한국	일본	미국
수력	50 (소수력30)	35~45	50
화력	25	16	30
원자력	25	16	30~35

<표 4>에서와 같이 내용연수는 30년으로 정하고, 댐설계지침에 의거하여 할인율을 6%로 하였다. 또한 유지보수비(Operation and maintenance cost)는 투자사업의 완공 후 그 사업시설의 운영비와 수선유지비 그리고 사업시설을 가동함에 따라 건설자가 부담하는 비용을 모두 포함하는 것으로 최근 계획되고 있는 소수력 발전소에서는 2.0% 내외를 적용하고 있다. 섬진강댐의 유지보수비는 건설비의 2.0%로 적용하여 경제성분석을 하였다. 사고·보수율은 한국수자원공사 주요 수력발전소의 최근 3년간의 수력발전소에 대한 평균 사고·보수율인 1.34%를 적용하였다.

<표 5> 연간 발전량 및 승전량

항목	단위	값	비고
· 연간 발전량(PG)	MWh/년	365.54	
· 소내 소비율(f1)	%	2.37	
· 사고·보수율(f2)	%	1.34	
· 연간 승전량(SG)	MWh/년	352.09	= PG×(1-f1)×(1-f2)

연간편익은 발전소의 연간승전량에 2010년 이후 관리사업 계획에 적용한 2010년 ~ 2012년간 20개 공사소수력의 평균적용단가인 100.61원/kWh를 적용하여 산정한 결과 36.0백만원으로 나타났다. 또한, 발전원가는 연간 발전소운영비 즉, 연간경비를 연간승전량으로 나누어 산정한 것으로 결과는 61.83원/kWh로 산정되어 발전원가 측면에서 소수력 구매단가 100.61원/kWh 보다 적어 경제성 측면에서 타당한 것으로 분석되었다.

경제성 분석은 사업의 비용과 편익(직접편익)을 동일 기준년도의 현재가치로 환산하여 순편익, 비용편익비 및 내부수익률 등으로 산정하였으며, 할인율을 6.0%로 적용한 결과는 <표 5>과 같다.

<표 6> 사업성 분석결과(단위:백만원)

항목 구분	산출내역	비고
· 비용(C)의 현재가치	382.46	할인율 6.0%적용
· 편익(B)의 현재가치	539.86	
· 연간균등비용	27.78	
· 연간균등편익	39.22	
· 연간 순편익	11.44	
· 비용편익비(B/C)	1.41	
· 순편익(NPV, B-C)	157.40	
· 내부수익률(IRR, %)	11.09	

즉, 경제성 분석결과, <표 5>와 같이 할인율 6.0%를 기준할 때 발전원가 방식으로 분석한 비용편익비는 1.62, 경제성평가 방식으로 분석한 비용 편익비는 1.41로 나타났으며, 섬진강댐댐 조소수력은 경제성 측면에서 타당성이 매우 양호한 것으로 나타났다.

3. 결 론

본 논문에서 댐체를 통해 무효방류되고 있는 하천유지용수를 조소수력을 이용하여 가장 적합한 형식의 수차를 선정하였고, 그것을 토대로 경제성과 타당성을 분석한 결과, 할인율 6.0%를 기준할 때 발전원가 방식으로 분석한 비용편익비는 1.62, 경제성평가 방식으로 분석한 비용 편익비는 1.41로 나타났으며, 이는 경제성 측면에서 타당성이 매우 양호한 것으로 분석되었다. 향후 섬진강댐의 잉여자원 적용가능성 분석을 바탕으로 이를 더욱 발전시켜 한국수자원공사에서 운영중인 다목적댐 방류개소 및 광역정수장의 취수구와 정수지 유출유량의 잉여자원 개소의 존재를 파악하여 발전에너지로 개발한다면 친환경 에너지개발로 인한 환경오염방지는 물론이고 고갈되어가는 화석연료를 대체할 소중한 자원으로 이용될 수 있을 것이라 기대한다.

[참고 문헌]

- [1] 건설교통부, “댐 설계기준”, 1993
- [2] 수자원공사, “댐설계 지침” 제2편 제14장 경제성 분석, 2004
- [3] ESHA, “Guide on How to Develop a Small Hydropower Plant”, ch6, 175p, 2004