

해외 소수력 발전설비 설계사례 연구

김희곤*, 김영국*, 홍영재*, 장석명*
한국수자원공사*, 충남대학교*

A case study of Small Hydropower facility design In overseas

Kim Hee Gon**, Kim Young Kuk*, Hong Young Jae*, Jang Seok Myong*
Korea WATER resources corporation, Chungnam University

Abstract - 본 연구는 최근 수행한 해외 소수력 발전설비에 대한 최적 소수력개발과 수용가로의 소규모 단독전력계통 구성을 위해 조사·설계에 필요한 설계인자를 도출하여 비교분석, 설계에 적용한 사례를 중심으로 작성되었다.

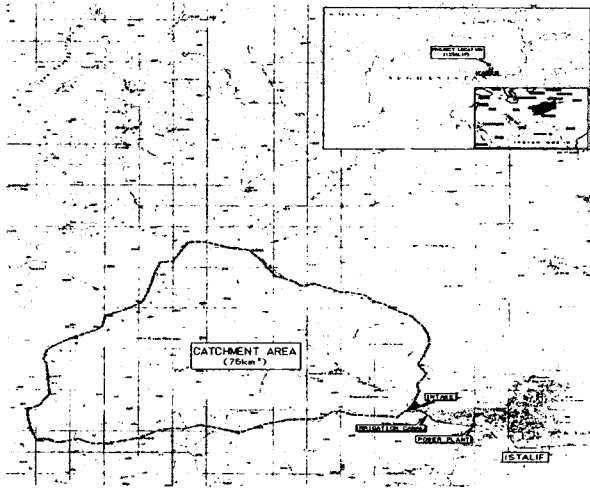
이스탈리프 인근의 Parwan지역에 위치한 3개 관측지점의 유출량 자료를 면적비법을 적용하여 비교·검토했던 결과, Panjshir지점 평균유량은 1.15m³/sec로 3개 관측지점의 평균유량 1.07m³/sec와 근접하게 나타났으며, 누가입량 및 월별 유출분포(특히, 평·갈수기)의 경향도 유사하게 검토되었다.

1. 서 론

현재 아프가니스탄의 전력공급률은 세계에서 가장 낮은 수준인 약 6%에 불과하며, 발전시설은 수력발전소(점유율 74%)가 대부분으로 조사되었다. 본 사업의 위치는 아프가니스탄 수도 카블로부터 북서쪽 55km지점에 위치하고 있으며, 국가송배전망의 부재로 전력혜택을 받을 수 없는 이스탈리프 마을 주민에게 전력공급을 통하여 삶의 질 향상 및 지역경제 발전에 기여하고 사업을 조기에 완료하여 지역주민의 생활환경을 개선코자 추진되었다.

2.1.2 유향분석

본 사업 발전형식은 수로식으로 발전사용수량을 결정하기 위해서는 장기간의 하천유량을 이용한 유향분석이 필요하다. 유향분석은 원칙적으로 일유입량 자료를 기준으로 검토되어야 하나, 자료입수가 어려워 이스탈리프 지점의 유출량으로 결정된 Panjshir강의 Gulbahar 관측소 지점의 18개년(1960~1977년)간 월별 유출량자료를 토대로 유량지속곡선을 도출하였다. 이스탈리프 지점의 월유량을 Series법으로 유향을 산정한 결과, 연평균 유량은 1.15m³/sec로 갈수량은 0.16m³/s, 평수량은 0.43m³/s로 분석되었다.



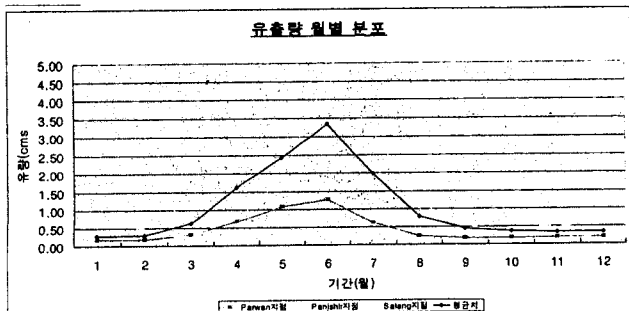
2. 소수력 발전설비 최적규모 검토

2.1 발전사용수량

발전사용수량은 발전소의 시설용량을 결정할 때 사용하는 최대수량으로써, 발생하는 편익과 비용을 산정 후 경제성분석에 의한 산출방법과 유향분석 후 발전형식(법, 수로식)에 의한 산출방법 2가지가 있다. 본 사업은 국가 송배전망의 혜택을 받을 수 없는 지역에 전력공급을 통하여 삶의 질 향상 및 지역경제 발전에 기여한다는 목적하에 경제성을 고려하는 방법보다는 유향분석을 통하여 발전사용수량을 결정하였다.

2.1.1 유향분석

사업대상 지역내에서 관측된 유출량 자료는 없어 사업대상 인근지역의 관측소를 대상으로 산정한 유출량자료를 비교·분석하여 본 사업대상지역인 이스탈리프 지역의 유출량 자료로 산정하였다.

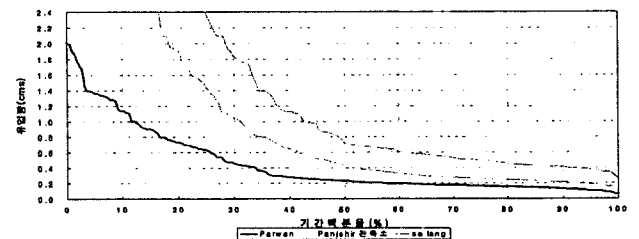


〈그림 1〉 Panjshir River의 월 유출분포

〈표 1〉 유향분석 결과

구 분	면 적 (km ²)	이스탈리프지점 유향분석					연평균 유 량	비 고
		최저 유량	갈수량 (97.2%)	저수량 (75.3%)	평수량 (50.7%)	풍수량 (26.0%)		
Panjshir	3,565	0.15	0.16	0.26	0.43	1.35	1.15	18개년 ('60 '77)
Parwan	4,020	0.06	0.10	0.17	0.23	0.60	0.44	18개년 ('60 '77)
Salang	485	0.26	0.35	0.51	0.71	2.20	1.62	13개년 ('62 '77)

유량지속곡선



2.1.3 발전사용수량 결정

일반적으로 발전형식이 수로식의 경우 평수량을 기준으로 적용하거나, 갈수량의 2~4배, 설비비용율(70~80%) 및 하천이용율 등을 종합적으로 고려하여 결정한다.

〈표 2〉 발전사용수량별 설비비용율 및 하천이용율

발전사용수량 (m ³ /sec) (a)	발전시설용량 (kW) (b)	하천평균유량 (m ³ /sec) (c)	평균발전수량 (m ³ /sec) (d)	설비비용율(%) (e)=(d)/(a)	하천이용율(%) (f)=(d)/(c)	비 고
0.15	40	1.15	0.15	100.00	13.04	최저수량
0.16	50	1.15	0.16	100.00	13.91	갈수량
0.20	60	1.15	0.20	100.00	17.39	
0.26	70	1.15	0.25	96.15	21.74	저수량
0.30	90	1.15	0.28	93.33	24.35	
0.40	110	1.15	0.33	82.50	28.70	
0.43	120	1.15	0.35	81.40	30.43	평수량
0.50	140	1.15	0.38	76.00	33.04	
0.60	170	1.15	0.43	71.67	37.39	
0.70	200	1.15	0.47	67.14	40.87	사용수량
0.80	230	1.15	0.50	62.50	43.48	
0.90	260	1.15	0.54	60.00	46.96	
1.00	290	1.15	0.57	57.00	49.57	
1.35	380	1.15	0.66	48.89	57.39	풍수량

본 사업의 발전사용수량 결정은 산정기준과 현 유향분포로부터 설비비용율(70%) 등을 고려하여 0.7m³/sec로 결정하였다.

2.2 유효낙차

본 사업의 발전형식은 유효낙차 확보 및 인근수용가의 접근이 용이한 곳에 수로식을 채택·적용하여 수용가에게 전력을 공급하도록 계획되었다.

2.2.1 기본재원

- ① 정격수위 : EL. 1866.3m
- ② 방 수 위 : EL. 1823.5m
- ③ 총 낙 차 : 정격수위 - 방수위 = 42.8m

2.2.2 손실수두

손실수두는 유량조정조 취수구로부터 발전소 방수로까지의 거리 76.5m에 대한 총 손실수두는 1.8m로 나타났으며, 여기에는 스크린 손실, 관마찰 손실 이외에 유입, 단면 변화, 만곡, 유출 등 각종 손실수두가 포함되어 있다.

〈표 3〉 손실수두 산출

구 분	손실수두 (m)	비 고
취수구에서 Y분기까지의 손실수두	0.9028	
Y분기에서 입구밸브까지의 손실수두	0.6374	
방수로에서의 손실수두	0.1563	
기타손실	0.1035	
총 손실수두	1.8	총낙차 : 42.8m

2.2.3 유효낙차 결정

유효낙차는 소수력 발전시스템의 출력을 산정하는데 있어서 물이 수차발전기에 도달하기까지의 수직거리를 말하며, 수차발전기에 유용한 에너지를 주는 낙차이다.

$$\text{유효낙차} = \text{총 낙차} - \text{손실낙차} = 42.8\text{m} - 1.8\text{m} = 41\text{m}$$

2.3 발전시설 규모 검토

발전시설용량(P)은 아래 계산식에 의해 결정되었다.

$$P = 9.8 \times Q \times H \times \eta = 9.8 \times 0.7 \times 41 \times 0.8 = 225 \approx 200\text{kW로 결정}$$

여기서, Q : 발전사용수량(0.7m³/sec)
H : 유효낙차(41m)
η : 발전합성효율(수차효율 0.87 × 발전기효율 0.92)

발전기의 합성효율은 제작사에서 제공하는 유량 및 낙차별 수차효율, 소용량 및 여유를 감안하여 수차 효율은 87%, 발전기 효율은 92%로 산정하였다.

수차발전기 대수는 계절에 따른 유량의 변동 및 유지보수를 고려하여 2대로 설치·계획하였고, 운전방식은 홍수기에 2대, 평·갈수기에는 1대, 수차 1대의 유량 절반(0.175m³/sec)이하가 유입될 경우에는 야간에만 운전하는 것으로 계획하였다.

2.4 수차 형식

일반적으로 수차제작사 등의 도표에 의한 선정방법과 비속도에 의한 선정방법으로 나누어지는데, 여기서는 비속도에 의한 수차형식을 선정 검토하였다.

수차를 선정하는 데는 우선 유효낙차를 고려하여야 하고 발전지점의 출력과 유효낙차가 결정되면 비속도를 구할 수 있으므로 이에 의해 회전수를 구할 수 있다. 이 때, 수차의 회전수를 높게 취하면 발전기가 작아짐에 따라 건물면적도 작아져 경제적이 될 수 있다.

〈표 4〉 수차형식별 비속도(Ns)의 범위

Standard Type	AH	JEC	U.S.B.R	WP
Pelton	10 70	12 23		13 65
Francis	57 325	70 320	57 380	75 350
Deriaz	125 400	140 370		
Kaplan(Propeller)	250 745	250 580	260 1,140	270 1,000
Tubular	555 990			

$$\text{비속도 계산식} : N_s = N \times \frac{P^{\frac{1}{2}}}{H^{\frac{5}{4}}}$$

$$\text{여기서, 회전수}(N) = 120 \times \frac{f}{p} = 120 \times \frac{50}{8} = 750(\text{rpm})$$

$$\text{수차출력}(P) = 9.8 \times 0.35 \times 41 \times 0.87 \approx 120(\text{kW})/\text{대}$$

$$\text{유효낙차}(H) = 41\text{m}$$

위 계산식에 의한 비속도(Ns)는 79.2m-kW이므로, Francis 수차가 적합한 것으로 나타났다.

2.5 발전기 형식

사업대상지역에는 인근 대규모의 전력계통선로가 전혀 없는 상태로 발전기형식은 가격면에서는 고가이지만 자력으로 단독부하운전이 가능한 동기발전기를 선정하여 적용하였다.

또한, 본 사업지역은 주택용 수용가가 대부분으로 거의 단상부하임을 감안하여 상불평형에 의한 전부하시 배전계통의 표준역률을 75%로 간주하여 비교적 안정적인 측면에서 접근하였다.

2.6 전력공급계획

사업대상 지역은 고·저압 배전선로 및 인입선로를 포함하여 약 17km, 발전소를 중심으로 반경 1.2km내 구역을 예상부하 중심으로 계획하였다.

본 사업지역은 단독계통선로로 직접 수용가에게 전력을 공급하는 방식으로 구성되어야 하는 특수한 경우이기 때문에 계절별 사용수량의 변동으로 인한 전력공급능력 저하에 대한 대책이 필요하다. 우/건기 및 선로 고장에 대한 영향을 최소화하기 위해 선로를 이원화로 구성하였다.

일반 수용가부하가 가구당 약 230W로 조사되었고, 단독계통에 따른 운전예비율은 5%로 계상하여 분석하였다.

〈표 5〉 발전사용수량별 전력공급 범위

발전사용수량 (CMS)	발전시설용량 (kW)	운전예비율 (%)	공급가능량 (kW)	공급예상 가옥수	비 고
0.1	30	5	29	126	
0.2	60	5	57	247	
0.3	90	5	86	374	
0.4	110	5	105	456	
0.43	120	5	114	495	<평수량>
0.5	140	5	133	578	
0.6	170	5	162	704	
0.7	200	5	190	826	<계획수량>
0.8	230	5	219	952	
0.9	260	5	247	1,073	
1.0	290	5	276	1,200	

계획수량(0.7m³/sec, 설비이용률 67.1%) 기준으로 볼 때, 우기시에는 약 820여 가구에 연간 4.5개월 정도 일정한 전력공급이 가능하나, 건기시에는 일부지역에만 공급이 가능한 수준이다. 따라서, 가구당 사용전력량이 늘어날 경우를 감안하면, 최대 수혜가능 가구수는 약 550여 가구가 적정수준으로 판단된다.

어떠한 사용수량 조건에서도 제한공급이 불가피한 실정이며, 우기시에는 수용가 부하에 따라 상시 전기를 공급하고, 건기시에는 지역별 제한공급 또는 취수보의 저류용량[7,307m³(0.7m³/s로 정격운전할 경우 2.8시간 발전기 운전)을 감안하여 시간대별 제한적 전원공급을 해야 할 것이다.

3. 경제성 분석

3.1 산정기준

국내사업과는 달리 소수력이지만 일반적으로 발전편익을 구하기 위하여 대체시설 비용을 그 편익의 근거로 하는 대체화력법으로 검토되었다. 본 사업지역에 대한 정보와 자료의 부족으로 타당성 검토를 위한 근거의 상당부분은 현지조사에서 나온 것을 바탕으로 분석되었다.

소수력의 경우 내용년수를 30년으로 적용하였고, 할인율에 있어서는 정부에서 고시한 할인율이 없어 국내 “댐 시설기준(건설부, 1993)”에서 제시된 8%, 10%를 적용하여 분석하였다.

또한, 본 계획시설은 소용량으로 대 화력발전소와의 건설비 단가보다는 소용량의 디젤발전소 설치단가를 기준으로 현지조사한 자료를 토대로 접근하였다.

3.2 경제성 분석

위의 산정기준을 토대로 경제성 분석 결과 할인율 8%와 10% 적용에 대해 B/C가 1.27과 1.13으로 산출되었으며, 본 사업에 따른 삶의 수준 향상, 산업화 및 경제발전 도모 등 환경편익을 고려한다면 그 편익은 더욱 높게 평가될 것으로 판단된다.

4. 결 론

최근 “(아프간)이스탈리프 소수력발전소 건립사업”의 일환으로 자체 설계를 수행하면서 검토·분석되었던 사항을 토대로 설계인자를 도출하여 설계에 반영된 사례를 중심으로 작성되었으며, 향후에도 유사사업을 원활하게 수행하기 위한 기초로 활용될 것으로 판단된다.

〈참 고 문 헌〉

- [1] 「이스탈리프 소수력발전소 건립사업 보고서」 한국수자원공사, 2005.1월
- [2] 「수력개발을 위한 타당성조사기준」 한국수자원공사, 1986.10월
- [3] 「수력발전설비 설계기준」 한국수자원공사, 1985.10월