

시화조력발전소 규모결정 Optimization of Siwha Tidal Power Plant

조재희¹, 이기상¹, 최재천², 고란 스토미로비치³
 Jae Hee Cho¹, Ki Sang Lee¹, Jae Chun Choi³ and Goran Stojmirovic⁴

1. 서 론

조력발전이란 해수면의 상승·하강에 의한 해수와 조지의 수위차를 이용하여 에너지를 생산하는 것으로 시화호 조력발전소의 경우 해수순환을 통한 시화호의 수질개선, 무공해 해양에너지 개발 및 국가부존 자원 개발의 목적으로 계획되었다.

조력발전소 건설시 고려되어야 할 가장 중요한 사항은 주어진 조건하에서 최대의 발전량 확보 및 조력발전소의 규모결정이며, 이는 발전방식, 조석조건, 조지용적, 수차·수문의 규모 및 설치대수 등의 복합적인 요소에 의해 결정된다. 따라서 사업지 인근의 조석특성과 시화호의 수위에 따른 내용적의 변화등의 자연조건과 시화호 특성을 고려한 발전방식, 수차·수문의 형식 및 규모, 각 조건별 공사비를 고려하여 최적의 발전량과 개발규모를 도출하는 과정이 필요하다. 본 설계에서는 단위기 용량별 Bulb type 수차발전기와, 통수능력 및 시공성이 양호한 Culvert형 수문을 선정하였고, 수차발전기 및 수문 설치대수에 따른 조합별 발전량을 산정하여 목표조건에 만족하는 조합을 1차로 선정하여 경제성 및 시공성, 유지관리성등을 고려하여 최적의 단위기 용량의 수차발전기 설치대수와 수문대수를 결정하고, 이 경우에 대해 장기적인 조석특성을 반영한 발전량을 제시하였다.

2. 조력발전의 개발규모 결정과정

조력발전의 개발규모 결정흐름도를 Fig. 1에 도시

하였으며, 산정과정의 주요사항은 아래와 같다.

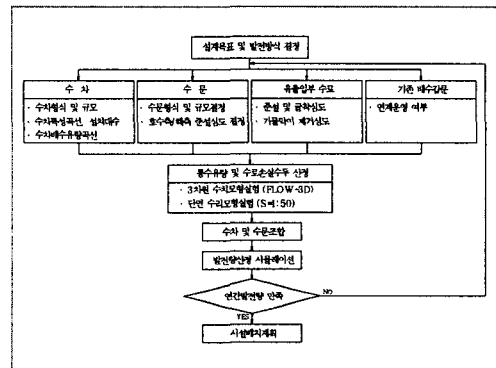


Fig. 1. 개발규모결정 흐름도

- 한국수자원공사에서 제시한 시설용량(252MW) 및 기본계획시 제시된 연간발전량(552.5GWh)이상을 확보하는 것을 설계목표로 하였다.

- 수차발전특성곡선과 수차효율 및 손실은 수차제작사로부터 제공받았으며, 수문형식 및 규모, 구조물 전·후면의 준설심도 및 배수시 수차유량특성곡선은 수치모형 및 수리모형실험을 반복수행하여 결정하였다.

- 결정된 수차·수문의 특성을 이용하여 수차발전기 및 수문설치대수를 변화시키면서 발전량을 산정하여 목표조건을 만족하는 조합을 선정하여 최적개발 규모를 결정하였다.

1(주)삼안건설기술공사

2(주)대우건설

3Hydro Tasmania

3. 발전량산정 시뮬레이션

3.1 개요

시화호 조력발전소는 시화호 관리수위 유지와 발전의 효율성증대 등의 이유로 창조식 발전방식을 채택하였으며, 기본적인 창조발전의 사이클은 Fig. 2에, 모형의 흐름도는 Fig. 3에 도시하였다.

창조식 발전방식은 낙조시 수문과 수차를 개방하여 조지수위를 간조위까지 낮추어 창조시에 발전하는 방식이며, 대기→발전→대기→배수의 사이클을 반복하여 발전한다.

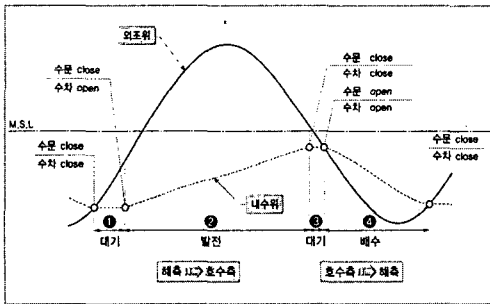


Fig. 2. 창조식발전 사이클

① 발전대기모드

한 사이클에서 발전량을 최대 확보할 수 있는 발전개시시점까지 수차수문을 닫고 대기하는 상태로 조지내로 유입되는 유량은 없고 조지내수위는 일정하게 유지된다.

② 발전모드

창조시에 최적발전개시수두차 발생시부터 수차를 개방하며, 발전가능 최저수두차 발생시 또는 조지수위가 운영최대수위와 같아지는 시점까지 발전을 하게된다. 발전시 수차를 통과하는 유량특성은 외조위와 내수위의 수두차에 대한 함수로 나타내어지고, 발전량은 다음식으로 계산된다.

$$E = \rho g \int_{T_1}^{T_2} H Q_{\tau}(H) \eta dt \quad (1)$$

③ 배수대기모드

낙조시에 수두차가 최소발전가능수두차 이하일때나 조지내수위가 운영수위까지 도달하였을때는 발전이 불가능하므로 수차를 닫고 대기하며, 조지내수위는 일정하게 유지된다.

④ 배수모드

낙조시에 내수위와 외조위가 같아지는 시점부터 다음 창조시 내수위와 외조위가 같아지는 시점까지 수차수문을 개방하여 조지내에서 외해로 배수하여 내수위를 낮춘다.

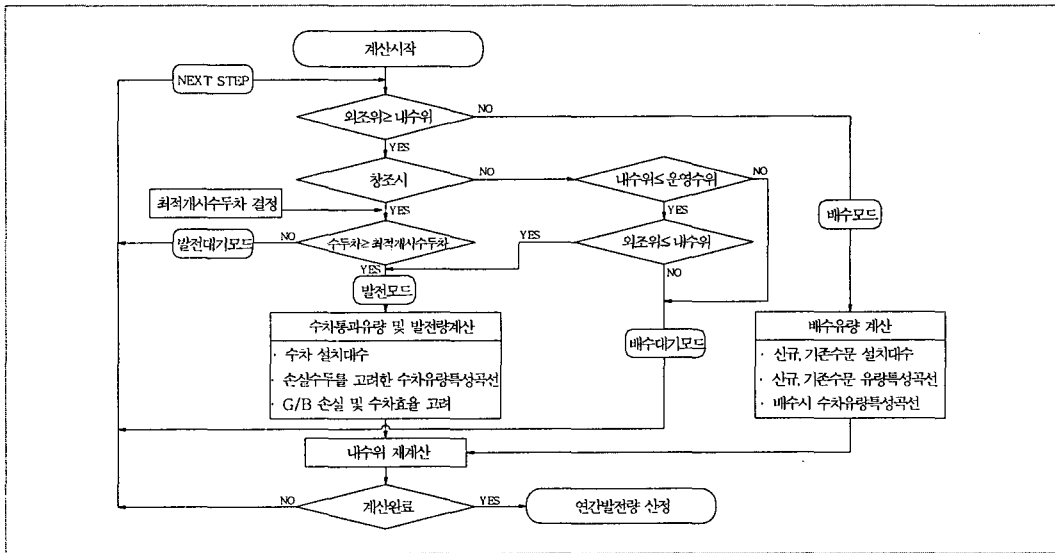


Fig. 3. 발전량산정 흐름도

3.2 입력자료

발전량산정 시뮬레이션의 입력자료로는 조석자료, 내용적자료, 수차 및 수문의 유량특성곡선 등이 있다.

■ 조석자료

2002.4 ~ 2003.3까지 1년간의 관측자료(시화 작은 가리섬 해상 1년조석관측 및 분석, 한국해양연구원)로부터 도출된 63개분조로 조위예측을 수행하였다.

Table 1. 주요4개분조의 반조차와 지각

구분	M ₂	S ₂	K ₁	O ₁
반조차(cm)	278.5	111.7	39.1	28.7
지각(deg.)	128.9	186.0	301.6	263.9

■ 내용적곡선

2003년 실시한 수심측량자료를 이용하여 향후개발예정지역의 좌표를 단계별로 입력하여 시화호 내용적곡선을 작성하였다.

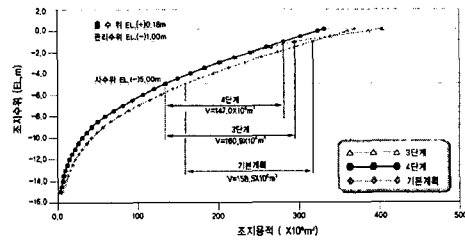


Fig. 4. 내용적 곡선

■ 수차 유량특성곡선

단위기 용량별 수차특성을 구상하여, 각 단위기 용량별 수차특성을 결정하였고, 수차모형 실험을 통하여 준설심도별로 발전 및 배수유량을 검토하여 목표 통수유량을 확보할 수 있는 준설심도를 결정하였으며, 수리모형실험을 통하여 유출입부의

와류발생여부를 확인한 결과 평가기준 이내로 발전수로의 형상 및 제원은 수리적으로 적정한 것으로 판단되었다. 발전량 산정시 수차제작사가 제시한 유량특성곡선과 효율을 다항식의 형태로 모형에 입력하였고, 유출입부의 급확대/축소에 의한 손실 및 발전기의 기계적 손실을 고려하였다.

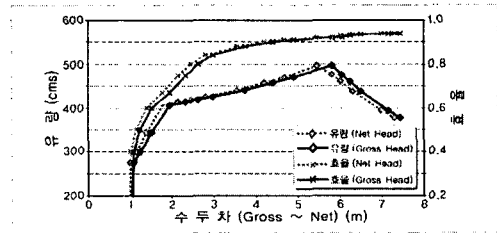


Fig. 5. 수차유량특성 곡선

■ 수문 유량특성곡선

목표발전량을 충족시킬 수 있는 목표배수량(8,500m³/s)을 설정하여 Venturi형, Culvert형, 개수로형 수문에 대해 수차모형실험을 수행하여 준설심도와 수두차별 유량을 산정하였다. 검토결과 통수능력이 양호하고 유지관리성이 좋은 Culvert형 수문(B15.3m x H12.0m)을 채택하였으며, 수리모형실험을 통하여 유출입부의 와류발생 여부, 수로내 부압발생 여부등을 확인한 결과 유출입부의 유황은 양호하며 수로내 부압 또한 발생하지 않는 것으로 나타났다.

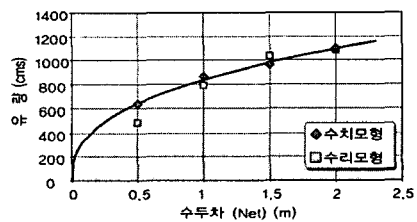


Fig. 6. 수문유량특성 곡선

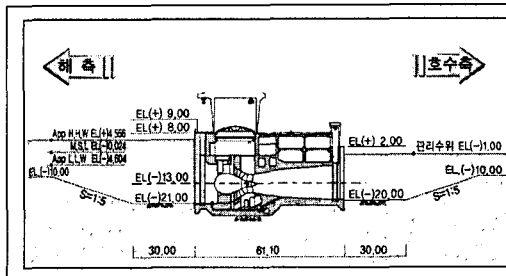


Fig. 7. 수차구조물 단면도

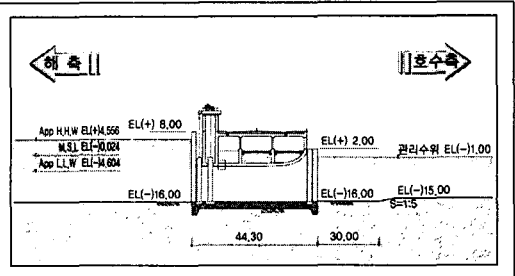


Fig. 8. 수문구조물 단면도

3. 최적 개발규모 결정

수차발전기 단위용량, 설치대수와 수문설치 대수의 조합에 대해 2002.7.1~2003.6.30의 기간 동안 연간발전량을 산정(Table 4)하여, 단위기 용량별 목표발전량을 만족하는 3가지 조합을 선정(Table 3) 하였다.

Table 3. 비교안 검토결과

구 분	1안	2안	3안
수 차 용 량	21.5MW	25.4MW	28.4MW
수 차 대 수	12대	10대	9대
수 문 대 수	8련	8련	8련
연 간 발 전 량	558.6GWh	552.7GWh	552.82GWh
연간발전시간	3,197hr	3,213hr	3,151hr
연 간 배 수 량	52,575백만m ³	51,074백만m ³	51,434백만m ³

수차수문 조합별 발전량 산정결과로부터 단위기 용량별로 목표발전량 및 시설용량을 상회하는 비교안에 대해 선정된 3가지 안에 대해서 건설단가(원/kWh)를 비교한 결과, 선정안이 비교1안에 비해 29.37원/kWh, 비교3안에 비해 9.37원/kWh가 낮아 가장 경제적인 것으로 나타났고, 그 외에 신뢰성, 유지관리성, 시공성 및 효율성에 대해 VE/LCC평가를 통하여 개발규모를 결정하였다.

결정된 개발규모에 대해 시화호 여건변화에 대한 발전량을 검토하였다. 시화호 개발단계에 따른 발전량 산정결과 3단계 개발시에는 발전가용 유량이 9.4% 많음에 따라 4단계 개발시에 비해 배수량은 6.9%정도 늘어나며, 발전량은 운영수위 EL(-)1.0m 기준으로 3.4%정도 증가하는 것으로 나타났다. 또한 현재 시화호 관리수위인 EL(-)1.0m을 조력발전소 운영시 EL(-)0.5m로 상향시킬 경우 발전량 3.9%, 배수량 4.2%의 증가효과가 있을것으로 예상되며, 조력발전소 건설로 인한 홍수조절능력 증대로 100년 빈도 홍수시에도 계획홍수위인 EL.(+)0.18m에 못미치는 EL(-)0.17m로 발전소 운영에 문제가 없는 것으로 검토되었다. 현재 가동중인 시화배수갑문을 연계하여 운영하는 경우는 배수능력 증가로 인해 2.5%의 발전량 증가효과가 있는 것으로 나타났다. 시화호 여건별 발전량 검토결과 기존 시화배수갑문을 연계운영하며, 운영수위를 EL(-)0.5m로 유지하는 것을 발전량 증대에 적절한 방안으로 제시하였다. 이 경우에 대한 2002.7~2003.6까지의 연간발전량은 587.7GWh로 산정되었으며, 조석의 장기적인 변동성을 고려하여 발전소 완공후부터 5년간의 조위에 대해 발전량을 산정한 결과 평균발전량은 601.4GWh로 산정되었다.

Table 4. 발전량산정 결과

(단위 : GWh)

발전기용량	수문대수	수차발전기 대수					
		9대	10대	11대	12대	13대	14대
21.5MW	6대	-	-	-	523.4	543.3	561.1
	7대	-	-	-	543.1	563.6	582.0
	8대	-	-	-	558.6	579.5	598.4
25.4MW	6대	-	517.5	541.9	562.8	-	-
	7대	-	537.3	562.5	584.6	-	-
	8대	-	552.7	578.9	602.3	-	-
28.4MW	6대	515.9	542.1	564.7	-	-	-
	7대	536.4	563.6	586.6	-	-	-
	8대	552.8	580.7	604.1	-	-	-

4. 결 론

시화호 조력발전소의 개발규모를 결정하고 그에 따른 연간발전량을 제시하였다. 수차 및 수리모형실험을 통해 결정된 수차 및 수문의 유량특성곡선과 1년간의 관측자료로부터 도출된 조위곡선, 최신측량자료를 이용한 시화호 내용적곡선을 이용하여 여러 가지 수차·수문 조합에 대한 발전량을 계산하였으며, 경제성 검토 및 VE/LCC평가에 의하여 25.4MW 수차10대(시설용량 254MW)와 Culvert형 수문($B15.3m \times H12.0m$) 8대를 계획하였다. 시화호 여건별 검토결과 기존 시화 배수갑문을 연계운영하고, 운영수위를 E.L.(-)0.5m로 유지하는 것으로 제안하였다. 이 경우에 대한 발전소 완공후 5년간의 연간발전량은 601.4GWh로 산정되었다.

참고문헌

- 한국수자원공사 (2001). 시화호 최적관리방안 수립연구.
- 한국수자원공사 (2002). 시화호 조력발전소 건설사업 타당성조사 및 기본계획 보고서.
- 한국수자원공사 (2004). 시화호 조력발전소 건설공사 기본설계보고서.
- 한국해양연구원 (2003). 시화 작은가리섬 해상 1년조석 관측 및 분석.
- 해양수산부 (2001). 해양에너지 실용화 기술개발(I): 조력·조류에너지.
- Hydro Tasmania, (2001). Study of Tidal Energy Technologies for Derby.
- L. B. Bernshtein, (1978). Tidal Power Plant, ed. W. O. Song and E. M. Wilson, KORDI.