

조력발전 운영을 위한 최대 발전량 산정 모델개발

오 민환¹⁾, 김 활수²⁾, 김 재훈³⁾, 송 규석⁴⁾

The Development of Model to Calculate Maximum Power for Tidal Power Plant Operation

Minhwan Oh, Hualsoo Kim, Jaehoon Kim, Guyseok Song

Key words : Tidal Power Operation Schedule(조력발전운전계획), Maximum Power Operation Simulation (최대발전량시뮬레이션), Optimum Start and Stop(최적 기동정지)

Abstract : Recently, concern for tidal power is being increased by newly recycled energy. It is important to decide on the maximum power estimate operation and it's stop by applying the difference of water level between tide level and artificial reservoir for the administration of tidal development. For maximum output of power through turbine generator, administrative variables and process on efficiency of hydraulic turbine and inflow discharge of reservoir is quite complicated because it is run through the connection of discharge-gate and turbine. On the development of this model, the administrative process is decided. Operation block is presented for it's maximum power estimate.

1. 서론

최근 국제 에너지가격 상승으로 신·재생에너지 개발에 대한 중요성인 높아지고 국가차원의 지원이 활발이 이루어지고 있다. 우리나라는 해양 에너지 개발의 적지로 인천만, 가로림만 등 타당성조사 및 실시설계가 수행되고 있고 시화호 조력발전의 경우 시공중에 있어 조력발전의 규모 결정이나 운영에 대한 기술개발의 중요성이 요구되고 있다. 조력발전방식은 조지운영방법에 따라 창·낙조식으로 나누어진다. 조력발전의 규모설계는 발전방식, 조석간만의 차에 따른 이용가능낙차, 조지면적, 수차와 수문의 규모 및 특성 등 서로 영향을 미치는 여러 가지 요소들에 의해 결정되어지나, 조력발전 운영은 설비운영요소가 결정된 사항으로 조석과 조지의 효율적인 이용에 관심이 있다. 조석의 현상은 지역적으로 차이는 있으나 규칙적으로 일어나는 해양 현상의 하나로 예측이 가능하고 발전이용을 위한 유량에 제약을 받지 않으므로 조위와 조지 수위사이의 최대낙차를 이용하는 것으로 발전기의 최대 출력 및 최대발전량산정에 중요성을 두고 있다. 최대발전량산정을 위해서는 조위에 따른 발전기 기동·정지

시점의 최적 결정방법이 중요하다. 최적 기동정지방법으로는 최적화법, 산술연산법, 참조모델법 등이 있다.^{1,2)} 본 모델에서는 향후 SCADA 시스템과의 연계운영에 기본모델로 이용 할 수 있도록 계산시간이 짧은 산술연산법(Full Optimization Method)를 이용하였다. 유용성검증을 위해 해양 연구원에서 시화호는가리섬 해상 조위를 예측한 데이터 중 2일간 데이터 496개를 취하여, 조력발전운영방식과 최대발전량에 따른 기동·정지 시점의 계산과를 제시하였다. 본 모델이 조력발전소의 조력발전운영을 위한 최대발전량 및 발전기 기동·정지 시점 계산모델에 유용하게 이용되리라 판단된다.

-
- 1) (주)삼안 해양에너지팀
E-mail : mhoh@samaneng.com
Tel : (02)3677-0473 Fax : (02)507-2273
 - 2) (주) 삼안 연구원 정보팀
E-mail : hskim2@samaneng.com
Tel : (02)509-4576 Fax : (02)503-5278
 - 3) (주) 삼안 해양에너지팀장
E-mail : jaehunk@samaneng.com
Tel : (02)3677-0471 Fax : (02)507-2273
 - 4) (주) 삼안 연구원 정보팀장
E-mail : kssong@samaneng.com
Tel : (02)509-4571 Fax : (02)503-5278

2. 조력발전 수치모형

조력발전 수치 모형은 조위와 조지간의 수두차에 의해 조지에 유입되는 양으로 발전량이 산출되며, 수심에 따른 저수량 변화곡선, 발전·배수 및 시간에 따른 조위 및 조지수위변화곡선, 오리피스에 이용될 때의 수두차의 함수인 수차와 수문의 통수량, 수차발전기와 수문의 조건 변화 등과 같은 입력자료가 필요하다. 유량은 발전시 조지로 유입되는 유량과 배수시 조지에서 유출되는 유량으로 나누어진다.

2.1 발전량 계산

조력발전은 조위와 조지수위 차인 발전낙차와 수차터빈을 통과한 수량값은 함수관계에 있고 터빈과 발전기효율을 적용한 식은 다음과 같다.

$$E = 9.8QHn_p n_g \quad (1)$$

여기서: E : 발전량(kW)

Q : Turbine 사용수량(m^3/sec)

H : 조위와-조지간 수위차(m)

$n_p n_g$: 수차 및 발전기효율(%)

2.2 조력발전방식

조력발전방식은 조석을 동력으로 하여 해수면의 상승·하강현상을 이용, 전기를 생산하는 방법으로 조력발전지점에 방조제를 축조하여 해수의 저수지 즉, 조지를 조성하여 창·낙조시에 조석의 크기와 조지간의 수위차를 이용하는 것으로, 조지에 유입과 유출의 방향의 하나의 흐름만을 이용한다.

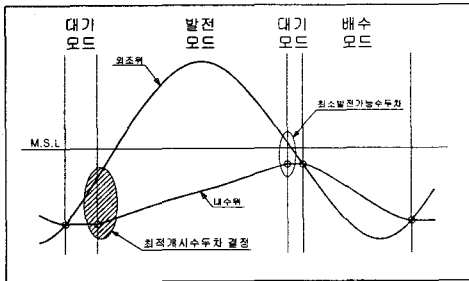


그림. 1 창조식 조력발전 운전방식

그림 1 은 창조식(해수 → 조지방향)의 운전방식을 나타냈다. 낙조시에 수문을 폐쇄하여 조지수위를 간조위 까지 낮춘 후 바다수위가 어느 정도 상승하면 터빈발전기를 통하여 조지에 물을 채우면서 발전하는 방식이다. 발전절차는 조석의 사이클에 따라 발전대기모드→ 발전모드→ 배수대기모드→ 배수모드의 절차를 계속 반복한다. 조력발전 운전방식에 따른 운영절차의 흐름도는 그림 2와 같이 나타낼 수 있다.

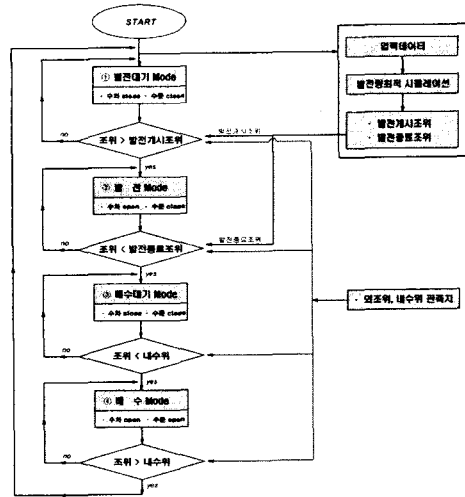


그림. 2 조력발전 운영절차 흐름도

그림 2의 조력발전 운영절차의 각 모드에 대한 가정은 다음과 같다.

① 발전모드

- 창조시 외조위가 내수위보다 높고, 수두차가 발전기 가동 개시수두차 이상일 때,
- 수차특성곡선을 이용하여 Δt 시간동안 조지내로 유입되는 유량과 발전량을 계산
- 흐름방향 : 해측 → 조지측으로 수차를 통해서만 유입되는 유량으로 조지를 채우면서 발전

② 배수모드

- 조지수위가 외조위보다 높은 경우
- 수차의 배수특성곡선, 수문의 유량특성곡선을 이용하여 Δt 시간동안 해측으로 배수되는 유량을 계산
- 흐름방향 : 조지측v→해측 수차, 수문,을 통해서 배수

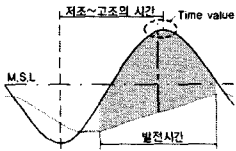
③ 대기모드

- 창조시 외조위가 내수위보다 높고, 수두차가 발전기 동 개시수두차 이하일 때, 낙조시 외조위가 내수위보다 높을 때
- 유입, 배수되는 유량 없음, time step만 증가

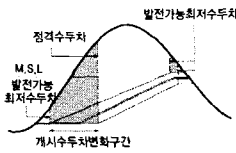
조석 한주기 동안의 발전량은 발전개시 수두차에 민감하며, 최소발전 가동 수두차에서 발전하면 발전시간은 길어질 수 있으나 총발전량이 최대가 되는 것은 아니다. 최대발전량을 얻기 위해서는 주어진 수차발전기의 작동가능 조건하에서 최대발전량을 얻을 수 있는 시작수위와 정지수위 등 운전 변수를 결정해야 한다. 그림 2의 발전량 최적 시뮬레이션은 수차발전기 가동정지의 시점을 결정하는 시뮬레이션이다.

2.3 최적 기동정지 방법

조력발전은 최대 출력 및 최대발전량을 매조석마다 계산해야 한다. 최대발전량계산을 위해서는 수차발전기의 기동·정지 시점이 중요하다. 조석의 크기에 따른 수차발전기의 기동과 정지 시점을 최적으로 결정하는 Time Advance Method, Full Optimization Method 2가지 방법을 그림 3에서 계산방법의 개요를 나타냈다.



(a) Time Advance Method



(b) Full Optimization Method

조석을 조성 조석의 잔여 용적과 특정수두차에서의 수차발전을 고려하여 발전시간을 산정 후 Time Advanced Value 조정하여 최대발전량이 발생하는 수두차 결정

매 조석마다 발전가능 최저 수두차에서 정격 수두차까지 0.1m 씩 변화시키면서 최대낙차까지 발전량을 산정하여 최대발전량이 발생하는 수두차 결정

그림. 3 터빈발전기의 최적 기동·정지 방법

조력발전소는 동일한 규모의 여러대 수차발전기를 운전하므로 원격제어시스템(SCADA)의 도입이 일반화되고 있다. 본 모델에서는 향후 SCADA 시스템과의 연계운영에 효율적으로 이용할 수 있도록 계산속도가 우수한 Full Optimization Method를 이용하였다.

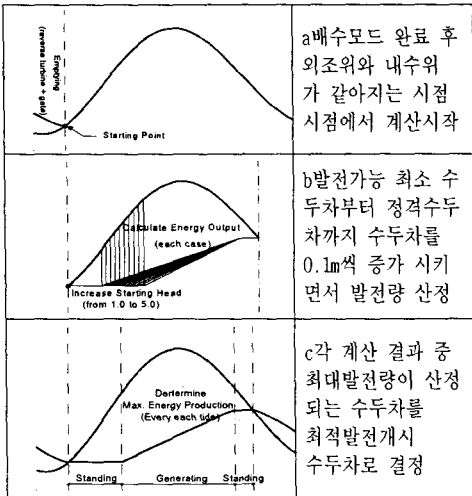


그림. 4 최적 기동정지 계산과정

단조지 단류식 조력발전에서 발전수두가 최소

가능 낙차에서 발전이 시작되어 외조수위가 조지의 운영수위보다 높은 최소발전낙차에서 발전이 종료된다. 그림 4는 Full Optimization Method의 최적 기동정지방법의 과정을 나타냈다. 그림4의 b에서 최대발전량을 구하기 위하여 발전개시 수두차를 최소발전 수두차로부터 일정한 ΔH 씩 증가시키면서 조석 한주기 동안 반복 계산하여 해당 조석에 대한 발전량을 산출하고, c와 같이 산출된 발전량 중 최대가 되는 경우를 택하여 그 조석의 최적 발전 조건으로 간주하며, 이 때의 발전개시 수두차를 해당 조석의 최적 발전개시 수두차로, 발전개시 시각을 발전개시 시각으로 취한다. 이상과 같은 과정으로 다음 연속되는 조석에 대하여 반복계산을 수행한다.

3. 적용사례

3.1 적용개요

세계최대규모의 조력발전소를 건설중에 있는 시화호 조력발전소는 단조지 단류발전소(창조식)로 수차용량은 25.4MW x 10대이고 배수문(B15.3m x H12.0m)은 8대이며, 수차중심수위는 EL(-)13.0m로 발전소 설계현황은 그림 5와 같다.

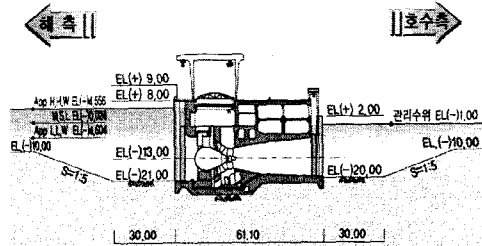


그림. 5 시화호 조력발전소 현황

3.2 입력자료

수치모형의 입력자료로는 조석자료, 수위별 조지면적, 수차발전기 및 수문의 대수, 수차발전기 및 수문의 통과 유량 특성, 수차발전기 특성 계수, 그리고 수차발전기의 수두와 발전량 및 수두와 통과 유량관계식 등이 요구된다.

(1) 조석자료

조석은 일반적으로 18.6년, 1년 및 1개월을 주기로 나타는 것으로 조사되었으며, 본 모델에서는 시화 작은가리섬의 조석자료를 해양연구원에서 예측된 2002.7.1-2003.6. 30 자료 중 2일(6분간 단위 497개)간의 자료를 이용하였다.

(2) 내용적곡선

초기용적 V_i 에 대한 조지수위는 내용적 곡선에 의해 Z_i 로 나타내고, 다음단계 조지용적 V_{i+1} 에 대해 조지수위는 Z_{i+1} 로 계산됨

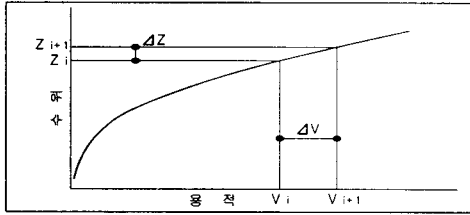


그림. 6 내용적곡선

(3) 수차유량 특성곡선

발전시는 수문을 닫으므로 수차를 통과하는 유량만 산정하게 된다. 통과하는 유량 Q_t 는 제작사의 Fill Chart 를 Curve-fitting 방법을 이용 수두차 및 효율에 의한 출력을 다항식으로 표시한 식은(2),(3)과 같다.

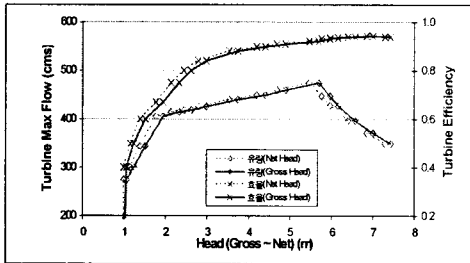


그림. 7 수차 유량 및 출력곡선

$$Q_t = (k_6 * H_g^6 + k_5 * H_g^5 + \dots + k_1 * H_g + k_0) * N_t \quad (2)$$

$$\eta = k_6 * H_g^6 + k_5 * H_g^5 + \dots + k_1 * H_g + k_0 \quad (3)$$

여기서 : Q_t : 발전시 수차통과유량(m^3/s)
 η : 수차효율(%)
 N_t : 수차설치대수(10대)
 H_g : gross head(m)
 $k_0 \sim k_6$: 수차특성곡선으로부터 도출된 계수

단, 유량특성곡선식은 정격수두 H_R 를 기준으로 2개의 식으로 표현한다.

(3) 수문유량 특성 곡선

수문은 B16.3m x H12.0m x 8대로 수문유량특성식은 (4)식과 같다.

$$Q_w = N_w * a * \Delta H^b \quad (4)$$

여기서 N_w : 신규배수갑문 설치대수(대)
 a : 모형실험에서 도출된 계수
 ΔH : 수두차 gross head(m)

(4) 터빈 배수유량 특성 곡선

$$Q_{tr} = (k_6 * H_g^6 + k_5 * H_g^5 + \dots + k_1 * H_g + k_0) * N_t \quad (5)$$

여기서 Q_{tr} : 배수시 수차통과유량(m^3/s)
 N_t : 수차설치대수(10대)

3.3 계산결과 분석

(1) 운전절차 계산결과

그림 8 은 시간분할(DT)를 6분간으로 하고, 2 일(496개)간 데이터를 계산결과에서 매 조석에 의한 배수 -> 발전대기 -> 발전 -> 배수대기의 과정을 순환적으로 잘 나타내 주고 있다.

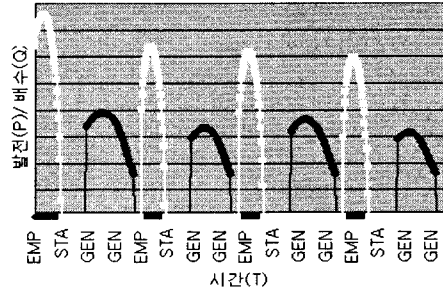


그림. 8 조력발전 운전 절차 계산결과

(2) 최적기동·정지 시점 계산결과

그림 9 에서 조석의 크기에 따라 기동시점 및

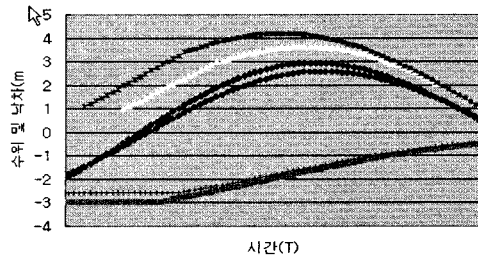


그림. 9 최적 기동 정지 시점 결과

발전시간이 다르게 나타나고, 정지시점은 일정 운영수위에 잘 접근됨을 잘 나타내 주고 있다.

4. 결론

본 모델을 시화호 조력발전소에 적용한 결과 발전 운영절차를 잘 따르고 있으며 매 조석마다 최대발전량을 계산하고 기동 정지 시점을 잘 나타내주고 있었다. 본 모델은 조력발전소의 규모 결정이나, 운영계획에 유용하게 이용될 수 있을 것으로 판단한다. 앞으로 최적화방법에 의한 모델 개선이 요구된다.

References

[1]Hydro Tasmania(2001), Study of Tidal Energy Technologies for Derby
 [2]Charlier, R. H, "Tidal Energy"
 [3]한국수자원공사(2004), 시화호 조력발전소 건설공사 기본설계보고서