

Matlab T-tide를 이용한 조위예측기반의 조력발전량 산정에 관한 연구

이성훈*, 곽희진*, 김종득*, 이은춘*, 김지찬*, 전경식*
한국수자원공사(K-water)*

The study on Estimate of Tidal Power Using Matlab T-tide Based on Tide Prediction

Sung-Hun Lee*, Hee-Jin Kwak*, Jong-Deug Kim*, Eun-Chun Lee*, Ji-Chan Kim*, Kyeong-Sik Jeon*
Korea Water Resources Corporation*

Abstract - The Sihwa tidal power plant is the first tidal power plant in Korea and the biggest of the world. The tidal power turbine is operated by tidal energy. The tidal energy is generated by the relative motion of the earth and celestial masses specially the sun and the moon, which interact via gravitational forces. The tidal power is estimated by the predicted tidal amplitude and phase. This paper gives a process of estimate of tidal power using Matlab T-tide based on tide prediction. The proposed method is tested using actual recorded data comparing to predicted date.

1. 서 론

국내에서 신재생에너지는 화석연료의 고갈과 지구온난화를 예방하기 위한 적극적인 해결책으로 제시되고 있다. 따라서 다양한 신재생에너지원을 이용하여 에너지를 생산하기 위한 연구개발도 활발히 진행되고 있다. 그중에서도 3면이 바다인 지리적 이점을 이용한 해양에너지는 우리나라에 적합한 신재생에너지원 중에 하나이다.

해양에너지에는 조력발전, 조류발전 및 파력발전 등이 있으며, 조력발전의 경우 국내에서는 최초로 상용화되어 전기를 생산하고 있는 유일한 해양에너지원이다. 국내최초, 세계최대 규모를 자랑하는 시화호조력발전소는 시화, 안산 신도시를 개발하기 위하여 조성된 인공호수인 조지를 이용하여 개발된 신재생에너지원으로써 11.2km의 방조제 밑에 25.4MW급 Bulb식 발전기 10대가 설치되어, 총 설비용량 254MW에 연 평균 1일 2회의 발전을 통하여 연간 기준 552.7GWh의 전력을 2011년부터 생산하고 있으며, 이는 인구 20만명 규모의 중·소도시에서 사용할 수 있는 양이다[1].

조력발전은 태양과 달의 상대적 운동의 영향으로 발생하는 조석을 에너지원으로 이용하여 호수면의 상승하강에 따른 낙차를 이용하여 해수를 통과시켜 수차의 회전력을 발생, 전기를 생산하는 방식으로, 크게 한 방향 발전인 단류식과 양방향 발전인 복류식으로 구분되어진다. 단류식은 밀물 때 발전하는 창조식과 썰물 때 발전하는 낙조식으로 나눌 수 있으며, 시화호조력발전소는 단류식 창조발전 방식으로 발전기 현황은 표1과 같다.

〈표 1〉 시화호 조력발전소 발전기 현황

발전소 위치	경기도 안산시 단원구 시화방조제	
시설용량	254MW(25.4MW×10대)	
형식	수차	횡축 벌브형 카프란 수차
	발전기	횡축 3상 동기 발전기
낙차	5.82m	
발전기 전압	10.2kV	
극 수	112극(시계방향)	
런너직경	7.5m	
런너회전수	64.29rpm	
사용수량	423.13m ³ /sec	

조력발전량을 계산하기 위해서는 기본적으로 에너지원인 기조력중 조위의 크기 및 시간에 대한 자료가 필요하다. 조위의 크기 및 시간은 국가에서 제공하는 발전소 인근 조위관측소 자료를 이용하거나, 관측된 조

위를 이용하여 조석의 조화분석(Tidal harmonic analysis)을 수행하면 조위의 크기 및 시간을 예측할 수도 있다. 일반적으로 국가에서 제공하는 조위의 크기 및 시간은 발전소로부터 떨어져 있다. 따라서 정확히 조력발전량을 산정하기 위해서는 발전소 앞바다의 정확한 조위를 관측하고, 이를 이용하여 조석의 조화분석을 수행해야 한다[2].

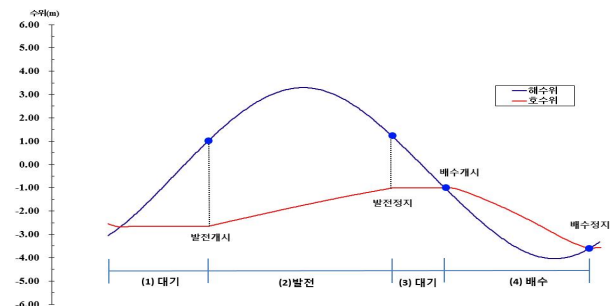
본 논문에서는 단류식 창조발전 방식인 시화호조력발전소의 조력발전량을 산정하는 방법에 관하여 다루고 있다. 국가에서 제공하는 조위의 크기 및 시간은 발전소로부터 많이 떨어져 있어 정확한 발전량을 산정할 수 없으며, 국가에서는 발전소 앞바다의 조위를 제공해 주지 않는다. 따라서 발전소 앞바다에서 관측된 조위자료를 바탕으로 자체적으로 조석의 조화분석을 수행하여 조위를 예측하였고, 이를 이용하여 조력발전량을 산정할 수 있었다. 조석의 조화분석은 Matlab T-tide를 이용하였다.

2. 본 론

2.1 시화호조력발전소 운영방식

단류식 창조발전방식은 밀물이 되었을 때 높아진 해수위와 호수위의 수위차를 이용하여 바닷물을 유입시켜 전기를 생산하고, 썰물 때는 호수의 물을 수문을 이용해 내보내고 다음 발전을 준비하는 발전 방식이다[3].

그림 1에서는 밀물과 썰물의 변화인 조석에 따라 발전 시(2) 해측에서 유입되는 해수로 인하여 호수위가 상승하고, 배수 시(4)에는 호수위가 하강하고 있음을 보여주고 있다. 이 때 발전개시 시점에 따라 한주기 동안(1회의 밀물) 해수위와 호수위의 수위차는 다르게 나타나며, 이에 따라 발전량도 다르게 나타난다. 따라서 매 주기별로 최대 발전량을 생산할 수 있는 최적 발전개시 낙차(해수위와 호수위의 차)는 정해져 있으며, 이를 선정하기 위하여 발전량은 사전에 계산해야 한다. 우선 조위의 크기 및 시간을 예측하여 발전개시 낙차별로 발전량을 계산하고 그 결과를 비교하여 최대 발전량을 생산하는 낙차를 발전기 기동낙차로 선정하고 그 때 발전기를 기동하게 된다.



〈그림 1〉 시화호조력발전 운영방식

2.2 조력발전량 산정식

앞선 언급하였듯이 조력발전은 밀물과 썰물의 변화인 조석현상을 이용하여 전력을 생산하는 방식으로 시화호조력발전소는 하루 2회 최대 평균 5 EL.m ~ -5 EL.m 범위로 변하는 서해바다와 시화호의 수위차를 이용하여 수차를 회전시켜 전기를 생산하고 있으며, 식(1)과 같이 수력발전 출력공식과 동일하게 정의할 수 있다.

$$P = \eta \times \rho \times g \times Q \times H [kW] \quad [1]$$

여기서, η : 발전효율(수차효율, 발전기 효율)

ρ : 해수밀도(1,025kg/m³)

g : 중력가속도(9.8m/s²)

2.3 Matlab T-tide를 이용한 조석의 조화분석

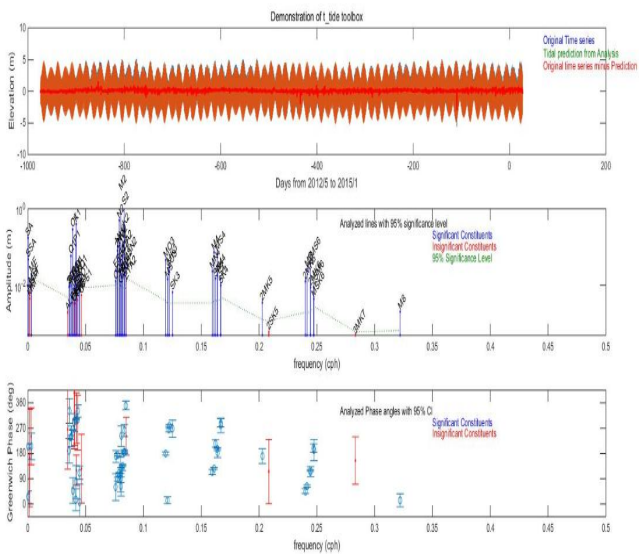
조석은 주로 태양과 달의 상대적 운동의 영향으로 여러 가지 조석주기를 가지며, 각각의 주기에 따라 변하는 규모, 즉 다양한 진폭을 보인다. 실제로 계기 등을 통하여 측정되는 해수면의 변화는 여러 주기와 진폭을 갖는 파장인 다수의 정현파로 이루어져 있다. 관측된 조석으로부터 다수인 규칙적인 부분 정현파인 분조(partial tides)를 분해하는 것을 조석의 조화분석이라고 한다[2]. 조석의 조화분석은 Laplace, William Thomson, George Darwin에 의하여 그 연구가 시작되었고, A.T. Doodson에 의하여 현재와 같은 조석의 조화분석이 탄생하였다. 조석은 태양과 달의 상대적 운동의 영향으로 나타나며, 지구, 태양, 달의 위치에 따른 다양한 조합으로써 그 크기를 나타낼 수 있다. 조석을 이루는 많은 분해요소 중에서 실제로 중요한 것은 4개(M_2, S_2, K_1, O_1)이다. 기조력에 가장 큰 영향을 미치는 달은 24시간 50분을 주기로 지구 둘레를 공전하면서 두 번의 밀물과 두 번의 썰물을 일으키므로 밀물과 썰물은 12시간 25분을 주기로 나타난다. 이를 주태음 반일주조(M_2)라 하며 가장 중요한 주기이다. 역시 달의 공전 주기에 의해 만들어 지는 주태음일주조(O_1)는 25.82시간의 주기를 가지며, M_2 분조의 영향을 1로 하면 약 0.415의 영향을 미친다. 주태양반일주조(S_2)는 지구의 자전에 의해 태양이 일주 운동을 함으로써 12시간의 주기를 갖는 분조로 M_2 에 비해 0.466의 영향을 미친다. 태양과 달이 상대적인 위치가 변하여 만들어지는 일월합성일주조(K_1)는 각각 23.93과 11.97시간의 주기를 가지며, 그 영향은 M_2 에 비해 0.548정도이다. 조위의 크기 및 시간을 예측하기 위한 조화분석을 식으로 표현하면 식 (2)와 같다[5,6].

$$y(t) = y_0 + \sum_{j=1}^m f_j H_j \cos(\omega_j t + \theta_j - \delta_j) \quad [2]$$

$$= y_0 + \sum_{j=1}^m R_j \cos(\omega_j - \phi_j)$$

여기서, t : 시간, ω_j : j번째 분조의 주파수
 $y(t)$: 시간 t 에서의 예측조위, θ_j : j번째 분조의 Nodal 위상
 y_0 : 평균해수면 높이, δ_j : j번째 분조의 위상
 f_j : j번째 분조의 Node factor, m : 사용된 분조의 수
 H_j : j번째 분조의 진폭

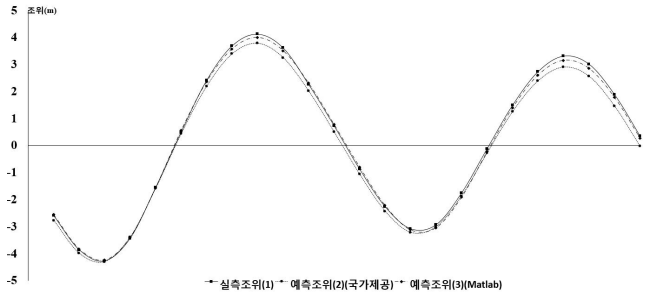
식 (2)의 조화분석식의 각 변수를 계산하기 위해서 Matlab T-tide를 이용하였으며, Matlab T-tide는 캐나다 해양연구원의 Godin, Foreman 박사에게 의해 FORTRAN으로 제작된 IOS package를 보다 쉽게 활용하기 위해 Matlab으로 재구성한 프로그램이다. t-tide.m이라는 주 프로그램과 함께 5개의 m-file로 구성되어 있다. 그림2은 Matlab T-tide를 구동한 이후의 화면으로, 첫번째 그래프는 입력된 실측과 예측 및 오차, 두 번째 그래프는 각 분조에 따른 진폭, 세 번째 그래프는 각 분조에 따른 위상차를 나타낸다.



〈그림 2〉 Matlab T-tide 구동 후 화면

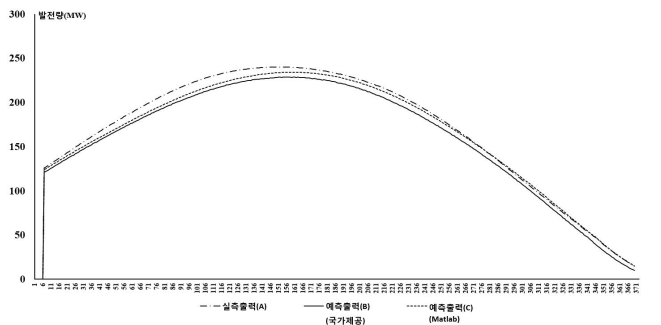
2.4 조위예측 및 발전량 산정결과

그림 3에는 일정기간동안에 시화호조력발전소 앞바다의 실측조위(1), 발전소 앞바다 인근에 설치된 국가 조위관측소에서 제공된 예측조위(2) 및 발전소 앞바다의 조위데이터를 이용하여 Matlab T-tide로 예측한 조위(3)를 비교하여 나타내었다. 조위예측결과는 실측대비 국가 조위관측소 제공 예측조위 평균오차가 약 6cm, 실측대비 발전소 앞바다 자체 예측조위 평균오차가 약 3cm으로, 발전소 앞바다의 조위를 자체적으로 예측하는 것이 좀 더 정확함을 알 수 있었다.



〈그림 3〉 실측조위 Vs 예측조위 비교

그림 4에는 그림 3에서 나타난 각 조위(1), (2), (3)을 이용하여 일정기간동안 발전량을 산정한 결과를 보여주고 있다. 조위예측 결과와 마찬가지로 발전소 앞바다의 조위데이터를 바탕으로 Matlab T-tide로 예측한 조위를 이용하여 발전량이 예측하는 것이 좀 더 정확한 것을 알 수 있다.



〈그림 4〉 실측 발전출력 Vs 예측 발전출력 비교

3. 결 론

본 논문에서는 국내 최초로 운영 중인 시화호조력발전소의 조위를 예측하여 조력발전량을 산정하는 기술에 관하여 다루고 있다. 조력발전의 에너지원은 기조력이며, 기조력은 태양, 달의 상대적인 운동의 영향에 의하여 그 크기가 결정된다. 따라서 조력발전량을 예측하기 위해서는 기본적으로 기조력을 예측하여야 하며, 기조력 중 조력발전량의 주요변수인 조위의 크기와 시간은 조석의 조화분석을 통하여 예측할 수 있다. 조석의 조화분석은 Matlab T-tide를 이용하여 수행하였다.

결론적으로, 기존에 시화호조력발전소와 떨어진 국가 조위관측소에서 제공하는 예측조위를 바탕으로 산정한 발전량 보다 발전소 앞바다의 예측된 조위를 이용하여 발전량을 산정하는 것이 더욱 정확한 것을 알 수 있었다. 앞으로 발전소 앞바다의 예측된 조위를 이용하여 조력발전량 산정을 정확도를 향상하는 연구를 지속할 예정이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 김종득, "세계최대 시화호조력발전소 현황", 2013.
- [2] 박용한, "해양학 원론", 서울대학교 출판문화원, 2005.
- [3] AC Baker, "Tidal Power" IEE ENERGY SERIES5.
- [4] R Pawlowicz, B Beardsley, S Lentz., "Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T-TIDE", Computers & Geosciences 28, 929-937, 2002
- [5] Mahda J. Jahromi, Ali I. Maswood, King-Jet, "Long Term Prediction of Tidal Currents", IEEE SYSTEMS JOURNAL, Vol. 5, No.2, pp. 146-154, 2001.
- [6] 변도성, "조화분해법을 이용한 19세기 이전 고조석 및 고조류 추산 고찰", The Sea, Vol. 15, No. 4, pp.203-206, 2010.