

시화조력발전소 수차발전기 제어시스템의 동적 특성 해석

Dynamic Characteristic Analysis of Water-Turbine Generator Control System of Sihwa Tidal Power Plant

안 상 지* · 반 우 현** · 박 철 원†

(Sang-Ji Ahn · Yu-Hyeon Ban · Chul-Won Park)

Abstract - Tidal power is one of new and renewable energy sources. The seawater is stored inside a tidal embankment built at the mouth of a river or bay, where tides ebb and flow. The water turbine-generators produce power by exploiting the gap in the water level between the water outside and inside the embankment. Tidal power plant is a large plant that is installed on the sea. And then, the facility's operations and a separate control system for monitoring and maintenance is required. However, this plant predictive control of building systems and technologies have been avoided the transfer of technology from advanced global companies. Accordingly, the control system for core technology development and localization is urgently needed. This paper presents modeling and simulation using by PSS/E about generator, governor, exciter, and power system stabilizer for control system in Sihwa tidal power plant to improve the efficiency and develop core technology. And the dynamic characteristics of governor and exciter were analyzed.

Key Words : Control system, Dynamic characteristics, Exciter, Governor, New and renewable energy, Sihwa tidal power plant, Power system stabilizer, PSS/E, Water-turbine generator

1. 서 론

조력발전은 신재생 청정에너지의 하나로 조석현상이 발생하는 하구 또는 만을 방조제로 해수를 막아 가두고 수차발전기를 설치하여 그 조위차를 이용하는 발전으로서 폐기물이 발생하지 않아 환경파괴가 없는 친환경 발전이다[1]. 2011년 시화호에 건설된 세계 최대 규모의 시화호 조력발전소는 연간 552.7백만kWh의 전기를 생산하고 있는데 이는 석유 862,000배럴을 수입해야 하는 양으로 유가로 환산할 경우 약 1,000억원/년 유류수입 대체효과가 있다. 조력발전소는 해상에 설치하는 대규모 플랜트로서 설비의 운영과 감시 및 유지관리를 위한 별도의 제어시스템이 필요하다. 조력발전소의 계측제어시스템은 기존의 전용 계측제어시스템인 분산제어시스템(DCS)에서 컴퓨터를 포함한 대규모 시스템의 원격감시제어시스템(SCADA)으로 발전하고 있으며 시스템과 시스템 간을 연계하여 플랜트의 운영효율을 증가시키는 통합관리시스템으로 확대 적용하고 있다. 원격감시제어시스템은 조석간만 및 조지의 수위를 관측하는 계측기와 현장의 운전 상태를 계측하는 온도, 압력, 위치센서장치, 조석간만과 조지의 수위변동을 고려하는 컴퓨터 시뮬레이션, 각 단위공정을 감시하고 제어하는 원격단말장치(RTU)로 구성되어 있으며 각각의 장치들은 원격감시제어시스템에 네트워크로 연결되어 있다[2].

그러나 이 플랜트 원격감시제어시스템의 구축과 기술은 오스트리아 Andritz Hydro 등의 선진사에서 미공개를 원칙으로 기술이전을 기피하고 있어 이에 대한 핵심원천기술개발 및 국산화가 절실히 필요한 실정이다[3,4].

국내 조력발전 관련 연구로는 2005년 조력발전설비 자동기동 및 최대출력 운전 설계[5]가 발표되었고 2008년 시화호 조력발전소건설 Joint Control System 소개[6] 되었고 파랑 특성을 고려한 조력발전소 여자시스템 적용에 관한 연구[7]가 이루어졌다. 2009년 시화조력발전 연계에 의한 남시화계통의 최적 운영 방안[8]이 발표되었고 2010년 해양환경을 고려한 조력발전소 조속기 운영특성 분석[9]이 진행되었으며 2012년 시화호 조력발전소 신설에 따른 전력계통 특성 및 경제적 이득 분석[10]이 논문지에 게재되었고 파랑에 따른 수차발전기 병렬운전 특성 분석이 연구되었다[11]. 최근 조력발전의 핵심원천기술 국산화를 위하여 조력발전을 위한 수차발전시스템의 모델링과 가상 시뮬레이터 개발안, 시화조력발전소의 운전제어장치(NEPTUN)에 대한 분석이 이루어졌다[2,5].

본 논문에서는 시화조력발전소의 최적 운전모델을 개발하고 효율적인 운용제고를 위하여 발전기, 조속기, 여자기, 안정화장치 등으로 구성된 수차발전기 제어시스템[12,16]의 모델링을 수행하였다. 특히 발전기 1군의 조속기와 여자기의 기준값을 0.03(3%) 증가, 감소시켜 그 특성을 확인해 보았다. 그 결과 모든 발전기 군의 경우 외란을 준 시점에서 약간 흔들리다가 일정하게 감소 및 증가하며 안정화 하였다.

† 교신저자, 종신회원 : 강릉원주대학교 전기공학과 교수 · 공박
E-mail : cwpark1@gwnu.ac.kr

* 정 회 원 : 강릉원주대학교 전기공학과 석사과정

** 정 회 원 : 강릉원주대학교 전기공학과 석사과정

접수일자 : 2012년 10월 5일

최종완료 : 2012년 11월 12일

2. 시화조력발전소 제어시스템 모델링

시화호 조력발전소는 시설용량이 254,000[kW]×10대의 동

기발전기식 별브형 수차발전기이다. 전체 5군(10기)으로 구성되는데 기준전압은 10.2[kV]이다. 먼저 네트워크 데이터를 생성하고 둘째 Dynamic 데이터를 구성하며 셋째 전력조류 계산을 수행하고 끝으로 발전기와 부하를 변환해 준 후 PSS/E(Power System Simulation for Engineering)를 이용하여 제어시스템의 동적 특성 시뮬레이션을 수행하였다 [2,7,16].

2.1 전력조류계산을 위한 네트워크 데이터 수집

시화호 조력발전시스템의 발전기 군과 변전소 모선의 데이터 시화조력 모선 각각의 Sub-System을 연결해주는 선로들의 데이터를 수집하였다. 발전기 및 2권선 변압기 1대와 3권선 변압기 2대를 모델링하였다. 시화조력발전소의 총 10개 부하데이터는 표 1과 같다[2].

표 1 타겟 시스템의 부하 데이터

Table 1 Load data of target system

구분	유효전력부하 (MW)	어드미턴스부하 (MVar)
시화조력 #1~#5	1.2	-0.8
동시화	57.4442	-21.1537
남시화	130.5421	-48.0756
서시화-1	166.7831	-61.4161
서시화-2	16.8199	-6.1915
서시화-3	-4.6651	1.7182

2.2 전력조류계산 분석

총 10기의 발전기가 총 5군으로 구성되어 있는 시화조력 발전소의 전력조류를 계산하였다. 시화조력발전소는 각각의 발전기 군에서 생산된 전력은 시화조력 S/S모선을 통해 남시화 Load, 동시화 Load, 서시화 Load로 보내지게 된다. 각각의 발전기 군과 시화조력 S/S모선사이에는 변압기가 연결되어 있고 시화조력 S/S모선을 제외한 나머지 모선들에는 모두 부하가 연결되어 있다. 각각의 선로들 위에 표시된 녹색과 주황색의 화살표는 조류계산결과 계산된 유효전력과 무효전력의 흐름을 보여주는데 전반적으로 정격용량 내에서 운전이 가능함을 알 수 있었다[2].

2.3 제어시스템 모델링

아래와 같이 발전기, 여자기, 조속기, PSS의 모델을 선정 한 후 내부정수를 사용하였다. 표 2는 선정된 원통형 발전기인 GENROU의 내부정수이고 그림 1은 선정된 여자기 모델인 IEEE1의 블록도이다. IEEE1은 12개의 내부정수로 구성되는데 전압 변성기 시정수(T_r)=0.02, 조절기 시정수 (T_A)=0.1, 이득(K_A)=60, 최대 제어기 출력(V_{RMAX})=5.7, 최소 제어기 출력(V_{RMIN})=-4.5, 계자 비례 상수(K_E)=1, 계자 시정수(T_E)=0.9, 비율 피드백 게인(K_F)= 0.06, 비율 피드백 시정수(T_F)= 1, 최대 여자(E)= 3.7, 최대 자속에서의 포화 factor(SE_2)=0.535로 설정하였다. 그림 2는 수력발전용 조속기 HYGGOV의 모델 블록도이다. 조속기의 내부정수는 서보 시정수(T_g)=0.5, 터빈 댐핑(D_{turb})=0.2, 터빈 이득(AT)=1.2, 수 시정수(T_W)=2, 필터 시정수(T_f)=0.05, 조속기 시정수

(T_r)=6, 일시적인 드롭(r)=0.05, 영구적인 드롭(k)=0.5, 게이트 속도제한($VELM$)=0.167, 최대게이트위치($GMAX$)=0.95, 최소게이트위치($GMIN$)=0.3, 무부하흐름(q_{NL})=0.08이다. 그림 3은 선정된 안정화장치 모델인 IEEE1의 블록도이다.

표 2 발전기 내부정수

Table 2 Internal parameter of generator

변수	설명	정수
T'_{do}	직축 과도 개방 시정수	3.735
T''_{do}	직축 초기 과도 개방 시정수	0.032
T'_{qo}	횡축 과도 개방 시정수	0.305
T''_{qo}	횡축 초기 과도 개방 시정수	0.08
H	관성상수	5.4
D	댐핑	0
X_d	직축 동기 리액턴스	1.456
X_q	횡축 동기 리액턴스	1.405
X'_d	직축 과도 리액턴스	0.206
X'_q	횡축 과도 리액턴스	0.5
$X''_d = X''_q$	직축 및 횡축 초기 과도 리액턴스	0.147
X_l	누설 리액턴스	0.161
s(1,0)	포화정수, 자속 1.0 pu	0.06
s(1,2)	포화정수, 자속 1.2 pu	0.24

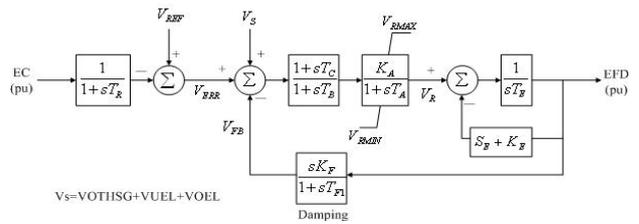


그림 1 여자기 모델 블록도

Fig. 1 Block diagram of exciter model

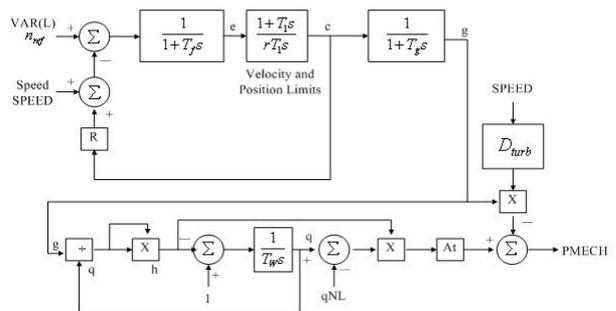


그림 2 조속기 모델 블록도

Fig. 2 Block diagram of governor model

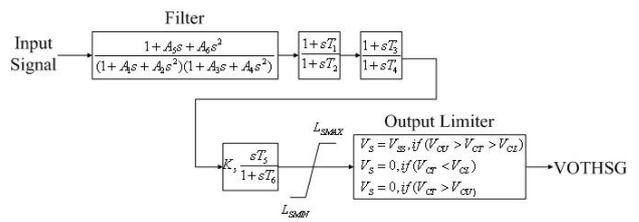


그림 3 안정화장치 모델 블록도

Fig. 3 Block diagram of PSS model

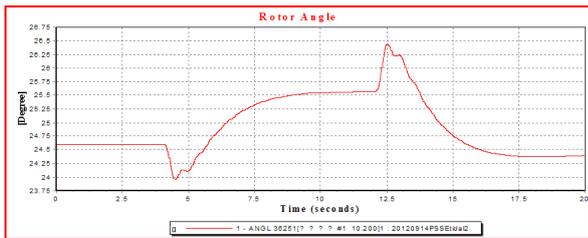
IEEEEST는 12개의 내부정수로 구성되는데 필터 이득 값 $A1=0.061$, $A2=0.0017$, $A3=0$, $A4=0$, $A5=0$, $A6=0$, 시정수 $T1=1.5$, $T2=0.3$, $T3=0.1$, $T4=0.05$, $T5=10$, $T6=10$, 비례 이득 $Ks=0.5$, 최대 제한기 출력 $LSMAX=0.05$, 최소 제한기 출력 $=-0.04$ 로 설정하였다.

3. 동적 시뮬레이션과 특성 분석

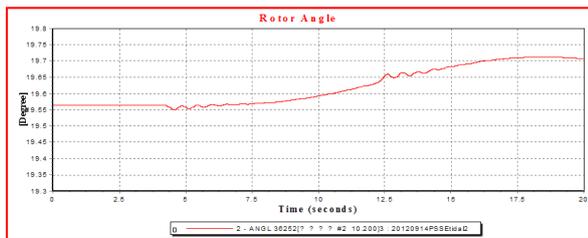
3.1 조속기의 제어 특성

시뮬레이션 조건으로 주기당 샘플수는 12S/C로 설정하였고 총 시뮬레이션 시간은 20초로 하였다. 과도 조건으로 전체 기간 중 처음 4초까지는 정상상태로 운전하고 4초에서 발전기 1군의 조속기 기준값을 0.03(3%) 증가시켜서 12초까지 운전하였다. 그후 12초에서 기준값을 0.03(3%) 감소시켜서 20초까지 시뮬레이션을 진행하였다. 조속기의 제어특성으로 회전자각, 유효전력, 무효전력, 단자전압, 단자전류, 계자전압, 속도오차, 기계적 출력을 분석할 수 있으나 회전자각, 계자전류, 단자전압, 기계적출력에 대하여만 논하였다. 여기서 회전자각을 제외한 나머지 값들은 단위가 모두 PU로 표시하였다[2].

그림 4는 각 발전기 군의 회전자 각도를 나타내었다. 발전기 1군의 경우 외란을 준 후 약 2초가량은 흔들리는 모습을 보이다가 조건에 맞추어 점점 증가하더니 10초 후에는 안정화되는 모습을 볼 수 있다. 다시 12초에 외란을 준 후에도 역시 2초가량 흔들리다가 일정하게 감소하며 안정화되는 모습을 볼 수 있고 증가량과 감소량이 3%라는 것을 확인할 수 있다. 나머지 발전기 군에서는 변화하는 양은 조금씩 차이가 있으나 그 형태는 매우 유사한 것을 볼 수 있다. 발전기 2군~5군의 회전자각의 정상상태 값인 19.56° 를 가지고 역률을 계산해주면 0.942정도가 나오는데 이는 설정한 정격 역률 0.95와 거의 유사함을 알 수 있다.



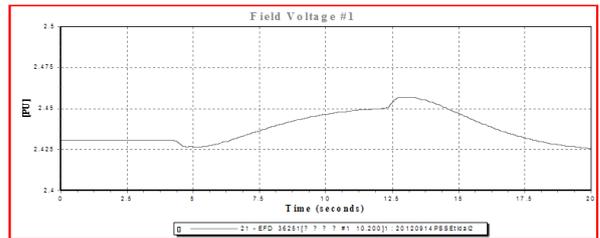
(a) 발전기 1군



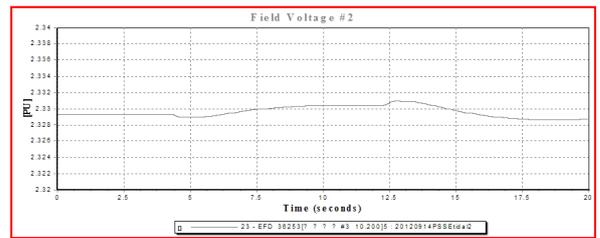
(b) 발전기 2군

그림 4 조속기 변화에 따른 회전자의 각
Fig. 4 Rotor angle by change of governor

그림 5는 각 발전기 군의 계자전압을 나타내었다. 직접적인 외란을 준 발전기 1군의 경우 변화의 모습을 확실하게 구별할 수 있다. 외란을 준 후 약 1초가량은 흔들리는 모습을 보이다가 조건에 맞추어 점점 증가하더니 10초 후에는 안정화 되는 모습을 볼 수 있다. 다시 12초에 외란을 준 후에도 역시 1초가량 흔들리다가 일정하게 감소하며 안정화되는 모습을 볼 수 있다. 나머지 발전기 군에서는 변화하는 양과 그 형태가 매우 유사한 것을 볼 수 있다. 발전기 2군~5군의 정상상태 값인 2.33[PU]를 가지고 %Z법으로 계산해주면 216.69[V]정도가 나오는데 이는 Target 시스템의 정격 부하 계자전압 204.6[V]와 약간의 오차가 발생하는 것을 알 수 있다.



(a) 발전기 1군

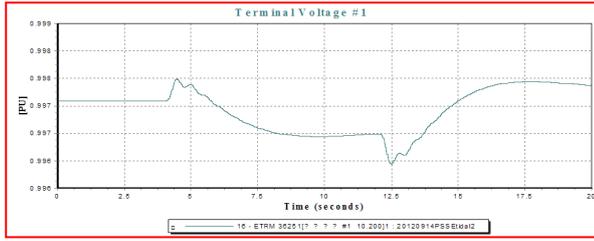


(b) 발전기 2군

그림 5 조속기 변화에 따른 계자전압
Fig. 5 Field voltage by change of governor

그림 6은 각 발전기 군의 단자전압을 나타내었다. 발전기 1군의 경우 외란을 준 후 약간 흔들리는 모습을 보이다가 조건에 맞추어 점점 감소하더니 7.5초 후에는 안정화되는 모습을 볼 수 있다. 다시 12초에 외란을 준 후에도 잠시 흔들리다가 일정하게 증가하며 안정화되는 모습을 볼 수 있다. 또한 증가하고 감소하는 양이 거의 3%라는 것을 알 수 있다. 발전기 2군~5군에서는 매우 유사한 형태로 변동하나 그 폭은 매우 적은 것을 볼 수 있다. 발전기 2군~5군의 정상상태 값이 1[PU]이기 때문에 %Z법으로 계산해줄 경우 원래의 정격 전압 10.2[kV]와 같음을 알 수 있다.

그림 7은 각 발전기 군의 기계적 출력을 나타내었다. 외란을 준 후 약 반주기가량은 흔들리는 모습을 보이다가 조건에 맞추어 점점 증가하더니 7.5초 후에는 안정화되는 모습을 볼 수 있다. 다시 12초에 외란을 준 후에도 역시 반주기 정도 흔들리다가 일정하게 감소하며 안정화되는 모습을 볼 수 있다. 또한 증가하고 감소하는 양이 거의 2.5%라는 것을 알 수 있다. 나머지 발전기 군에서는 변화하는 양은 조금씩 차이가 있으나 그 형태는 매우 유사한 것을 볼 수

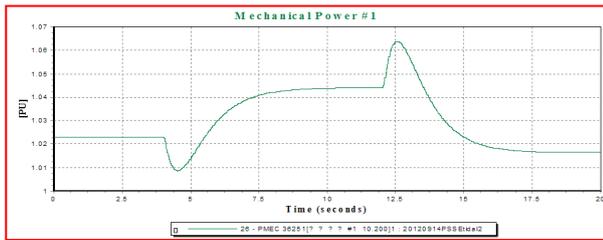


(a) 발전기 1군

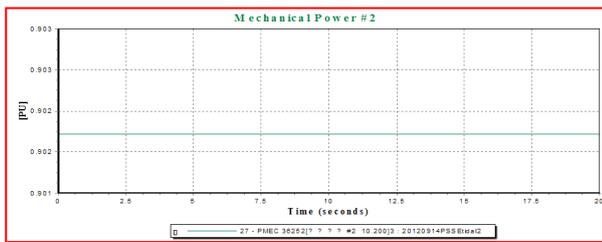


(b) 발전기 2군

그림 6 조속기 변화에 따른 단자전압
Fig. 6 Terminal voltage by change of governor



(a) 발전기 1군



(b) 발전기 2군

그림 7 조속기 변화에 따른 기계적 출력
Fig. 7 Mechanical power by change of governor

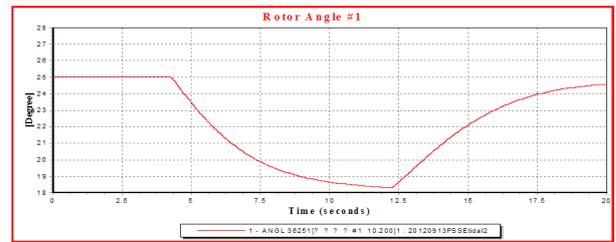
있다. 2군에서 5군의 경우 외란이 발생한 후에도 변화량이 아주 작기 때문에 아무런 변화가 없는 것처럼 보여 진다. 발전기 2군~5군의 정상상태 값인 0.902[PU]를 가지고 %Z 법으로 계산해주면 22.9108[MW]정도가 나오는데 이는 정격 출력과 약간의 오차가 발생함을 알 수 있다.

조속기 기준값의 증가 및 감소는 유량(조위차)의 변화를 입력으로 받고 Guide vane과 터빈의 Wicket gate, Runner blade를 제어함으로써 발전기의 회전자속도 나아가 기계적 출력을 제어하는 것을 확인할 수 있었다.

3.2 여자기의 제어 특성

시뮬레이션 조건으로 주기당 샘플수는 12S/C로 설정하였고 총 시뮬레이션 시간은 20초로 하였다. 과도 조건은 전체 기간 중 처음 4초까지는 정상상태로 진행되다가 4초에서 발전기 1군의 여자기 기준값을 0.03(3%) 증가시키고 12초까지 운전하였다. 그 후에 12초에서 이번엔 기준값을 0.03(3%) 감소시켜서, 20초까지 시뮬레이션을 진행하였다[2].

그림 8은 각 발전기 군의 회전자 각도를 나타내었다. 직접적인 외란을 준 발전기 1군의 경우 변화의 모습을 확실하게 구별할 수 있다. 4초에 외란을 준 이후에 일정하게 감소하고, 다시 12초에 외란을 준 후에는 일정하게 증가하는 모습을 볼 수 있다. 증가하고 감소하는 양이 28%로 상당히 큰 것을 알 수 있다. 반면 발전기 2군~5군에서는 증가량과 감소량이 비슷하며 그 형태도 매우 유사한 것을 볼 수 있다. 한편 발전기 2군~5군의 회전자각의 정상상태 값인 19.97[°]를 가지고 %Z법으로 계산해주면 약 0.94의 역률이 나오는데 이는 정격 역률 0.95과 거의 유사함을 알 수 있다.



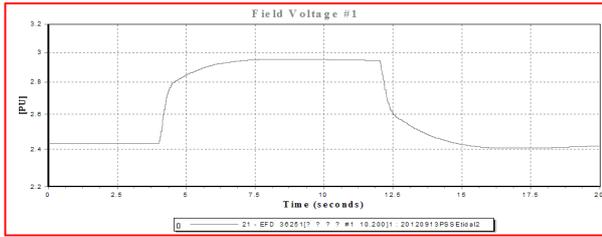
(a) 발전기 1군



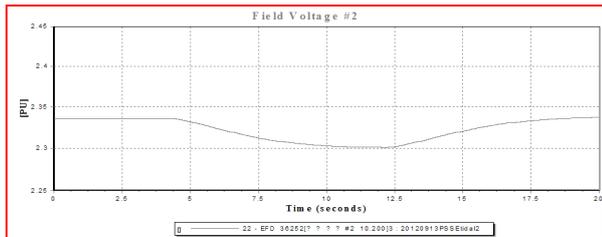
(b) 발전기 2군

그림 8 여자기 변화에 따른 회전자의 각
Fig. 8 Rotor angle by change of exciter

그림 9는 각 발전기 군의 계자전압을 나타내었다. 직접적인 외란을 준 발전기 1군의 경우 외란을 준 각 시점 이후엔 증가하고 감소하며 외란 시점으로부터 약 3초 이후에 안정화하는 모습을 볼 수 있다. 또한 그 양은 외란 조건의 3%의 두 배에 해당하는 6%라는 것을 알 수 있다. 나머지 발전기 군의 경우 1군과 반대로 증가할 때 감소하고 감소할 때 증가하는 모습을 볼 수 있으며 그 양은 3%이다. 한편 발전기 2군~5군의 정상상태 값인 2.34[PU]를 가지고 %Z법으로 계산해주면 약 217[V]가 나오는데 이는 정격부하 계자전압 204.6[V]와 13[V]의 오차가 발생함을 알 수 있다.



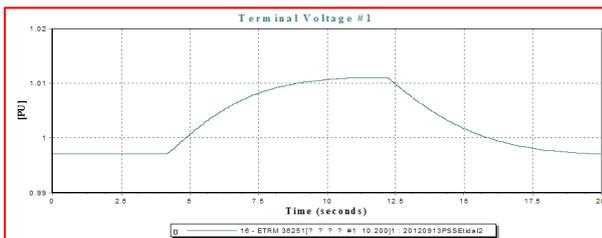
(a) 발전기 1군



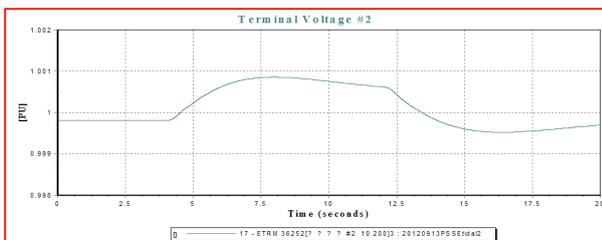
(b) 발전기 2군

그림 9 여자기 변화에 따른 계자전압
Fig. 9 Field voltage by change of exciter

그림 10은 각 발전기 군의 단자전압을 나타내었다. 발전기 1군의 경우 4초에 외란을 준 후 일정 비율로 증가하고 다시 12초에 외란을 준 이후에는 일정 비율로 감소하며 안정화되는 모습을 볼 수 있다. 또한 증가하고 감소하는 양이 거의 3%라는 것을 알 수 있다. 발전기 2군~5군에서는 매우 유사한 형태로 변동하나 그 폭은 매우 적은 것을 볼 수 있다. 또한 모든 발전기 군에서 정상상태 값이 1[PU]로 나오므로써 이를 %Z법으로 계산할 경우 정격 단자전압 10.2[kV]와 같음을 알 수 있다.



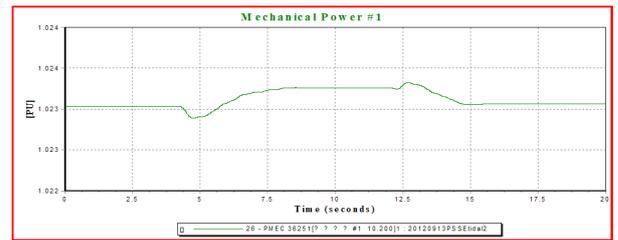
(a) 발전기 1군



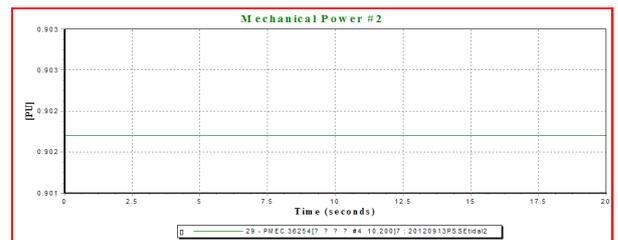
(b) 발전기 2군

그림 10 여자기 변화에 따른 단자전압
Fig. 10 Terminal voltage by change of exciter

그림 11은 각 발전기 군의 기계적 출력을 나타내었다. 외란을 준 후 약 반주기가량은 흔들리는 모습을 보이다가 조건에 맞추어 점점 증가하더니 7.5초 후에는 안정화 되는 모습을 볼 수 있다. 다시 12초에 외란을 준 후에도 역시 반주기 정도 흔들리다가 일정하게 감소하며 안정화되는 모습을 볼 수 있다. 또한 증가하고 감소하는 양이 거의 2.5%라는 걸 알 수 있다. 나머지 발전기 군에서는 외란이 발생한 후에도 변화량이 아주 작기 때문에 아무런 변화가 없는 것처럼 보여진다. 한편 발전기 2군~5군의 정상상태 값인 0.902[PU]를 가지고 %Z법으로 계산해두면 약 23[MW]가 나오는데 이는 정격 출력 25.4[MW]와 약간의 오차가 발생함을 알 수 있다.



(a) 발전기 1군



(b) 발전기 2군

그림 11 여자기 변화에 따른 기계적 출력
Fig. 11 Mechanical power by change of exciter

여자기 기준값의 증가 및 감소는, 발전기 단자전압과 기준 전압의 차이를 여자 계통에 입력시킨 후 자동전압조정기와 안정화장치를 제어함으로써 발전기 여자전압을 제어하고 나아가 발전기의 출력전압을 일정하게 유지시켜 주는 것을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

본 논문에서는 2011년 준공되어 2012년 계통에 접속되어 상업운전을 하고 있는 시화조력발전소의 수차발전기 제어시스템을 모델링하였다. 조속기와 여자기의 기준값을 증가, 감소 시켜 그에 따른 동적 특성을 해석하였는데, 모든 발전기 군의 경우 외란을 준 시점에서 약간 흔들리다가 일정하게 감소 및 증가하며 안정화 하였다. 발전기 2~5군의 경우 1군에 비해 정격값과의 오차가 적었다.

발전기는 원통형 발전기인 GENROU로 여자기는 IEEE11로 조속기는 수력발전용 조속기인 HYGGOV로 안정화장치는 IEEEEST로 각각 적절하게 모델링을 수행하였다. 조속기의

동적 시뮬레이션을 통해 조속기의 기준값 변동에 따라 유량(조위차)의 변화를 입력으로 받고 Guide vane과 터빈의 Wicket gate, Runner blade를 제어함으로써 발전기의 회전자속도 나아가 기계적출력을 제어하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 여자기의 동적 시뮬레이션을 통해 여자기의 기준값 변동에 따라 발전기 단자전압과 기준전압의 차이를 여자계통에 입력시킨 후 AVR과 PSS를 제어함으로써 발전기 여자전압을 제어하고 나아가 발전기의 출력전압을 일정하게 제어하는 것을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (2010T100100145)

참 고 문 헌

[1] 김규호, 권석기, 김태훈, “조력발전 기술 및 현황”, 대한전기학회 전기의 세계, Vol. 55, No. 8, pp. 32~37, 2006. 8.

[2] 박철원 외, “PSS/E를 이용한 시화조력발전소의 발전기 시스템 모델링과 동적 시뮬레이션”, 대한전기학회 산업전기위원회 학술대회 논문집, pp. 22~29, 2012. 10.

[3] Andritz Hydro, “Automation & Control(NEPTUN)”, pp. 1~44, 2009.

[4] Andritz Hydro, “Andritz Hydro Company Presentation 2011”, pp. 1~21, 2011.

[5] 강동형, 김종득, 임재일, 신광철, 오민환, 김재훈, “조력발전설비 자동기동 및 최대출력 운전 설계”, 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 2579~2581. 2005. 7.

[6] 오민환, 김재훈, 신광철, “시화호 조력발전소건설 Joint Control System 소개”, 대한전기학회 하계학술대회 논문초록집, pp. 561, 2008. 7.

[7] 김현한, 김광호, 정중찬, “파랑특성을 고려한 조력발전소 여자시스템 적용에 관한 연구” 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 251~252, 2008. 7.

[8] 김규호, 송경빈, “시화조력발전 연계에 의한 남시화 계통의 최적 운영 방안” 전기설비학회 논문지 Vol. 23, No. 5, pp. 120~126, 2009. 5.

[9] 김현한, 김준규, “해양환경을 고려한 조력발전소 조속기 운영특성 분석”, 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 1227~1228, 2010. 7.

[10] 김규호, 송경빈, 김상민, 이성무, 최홍식, “시화호 조력발전소 신설에 따른 전력계통 특성 및 경제적 이득 분석” 대한전기학회 논문지 Vol. 61, No. 6, pp. 791~796, 2012. 6.

[11] 장진승, 남진극, 김현한, 옥현호, 광희진, 최준환, “파랑에 따른 수차발전기 병렬운전 특성 분석”, 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 432~433, 2012. 7.

[12] S.A. Khaparde 외, “Modeling Tidal Power Plant At Saphale”, IEEE Region 10 International Conference

on Global Connectivity in Energy, Computer, Communication and Control, pp. 544~547, 1998. 12.

[13] T.J.Hammons, “Tidal Power”, Proceedings of the IEEE, pp. 419~433, 1993. 3.

[14] T.J.Hammons, “Tidal Power in the United Kingdom”, 43rd International Universities Power Engineering Conference, pp. 1~8, 2008. 9.

[15] Chee-Mun Ong, “Dynamic Simulation of Electric Machinery(Using Matlab/Simulink)”, PRENTICE HALL PTR, pp. 259~350, 1998.

[16] PTS(Power Technologies Solution), “Release Notes for PSSE V33”, Siemens, pp. 1~7728, 2011. 5.

저 자 소 개



안 상 지 (安尙志)

1989년 8월 31일생. 2012년 국립강릉원주대학교 전기공학과 졸업. 2012년~현재 국립강릉원주대학교 대학원 전기공학과 석사과정.

Tel : 033-760-8796

Fax : 033-760-8781

E-mail : 01034105882@hanmail.net



반 우 현 (潘禹顯)

1988년 9월 22일생. 2011년 국립강릉원주대학교 전기공학과 졸업. 2011년~현재 국립강릉원주대학교 대학원 전기공학과 석사과정. 2012년 3월~현재 국립강릉원주대학교 전기공학과 교육조교.

Tel : 033-760-8796

Fax : 033-760-8781

E-mail : b1w2h3@naver.com



박 철 원 (朴哲圓)

1961년 8월 13일생. 1988년 성균관대학교 전기공학과 졸업. 1996년 성균관대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1989년~1993년 금성산전연구소 주임연구원. 1993년~1996년 프로컴시스템 기술연구소 선임연구원. 1993년~1997년 성균관대학교

전기전자 및 컴퓨터공학부 강사. 1997년~2007년 국립강릉원주대학교 전기공학과 전임강사, 조교수, 부교수. 2007년~현재 국립강릉원주대학교 전기공학과 정교수.

Tel : 033-760-8786

Fax : 033-760-8781

E-mail : cwpark1@gwnu.ac.kr