

신재생 발전 연료전환에 따른 영동1호기 발전기/제어계 특성시험 및 모델정수 도출

Characteristics Test and Model Parameter Determination of Generator/Excitation System of Yeongdong Unit 1 due to Conversion of Renewable Generation Fuel

문정민*, 이태규*, 신우주*, 김정욱**★

Jeong-Min Mun*, Tae-kyu Lee*, Woo-Ju Shin*, Jeong-Uk Kim**★★

Abstract

In this paper, we introduce the wood pellet electric power generation system, which is an eco - friendly solid fuel processed pure wood, which is one of the largest capacity renewable power fuels in Korea, The Ministry of Commerce, Industry and Energy notified the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism of the Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs of the Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs. Derived and validated.

It is confirmed that the performance of the generator and the voltage control characteristics of excitation system are good even for the change of generator fuel. It can contribute to future reference at the plant that wants to replace fossil fuels with renewable fuels.

요약

본 논문은 초미세먼지 증가를 억제하고자 1972년 건설된 국내무연탄과 유류를 혼소하는 발전설비를 2017년 국내최초, 최대 용량의 신재생 발전 연료 중 하나인 순수 목재를 가공한 친환경 고품질 바이오매스[우드펠릿] 발전방식으로 변경하였다. 발전기·제어계 중요 설비 교체에 따른 산업부 고시 “전력계통 신뢰도 및 전기품질 유지기준” 제 32조 발전설비 신/증설 시 발전설비 특성자료를 제출에 의거 발전기 기술특성시험을 실시하였으며, 시험을 통하여 발전기/제어계 모델정수 도출 및 검증을 수행하였다.

발전기 연료변경에도 해당 발전기 설비의 성능 및 여자시스템의 전압제어특성이 양호함을 재확인하였다. 차후 화석연료를 신재생 연료로 교체하고자 하는 발전소에서 참고하는데 기여할 수 있다.

Key words : Renewable Energy, Generator Parameters, Load Rejection Test, Excitation System Model

* MS and PhD course, Dept. of Energy-grid, Sangmyung University

** Professor, Dept. of Electrical Engineering, Sangmyung University

★ Corresponding author

E-mail : jukim@smu.ac.kr, Tel : +82-2-781-7602

※ Acknowledgment

This work was supported by the Korea Energy Technology Evaluation and Planning(KETEP)(20164030300230) funded by the Ministry of Trade, Industry and Energy.

Manuscript received May. 14, 2019; revised Jun. 6, 2019; accepted Jun. 26, 2019.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

I. 서론

1. 친환경 발전 연료의 도입

2016년 기준 한국의 초미세먼지 농도는 $26\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 세계보건기구(WHO)권고기준($10\mu\text{g}/\text{m}^3$) 대비 2배 이상 높은 상황으로 국민의 삶의 질과 건강측면에서 특단의 대책이 필요한 상황이다.

이에 정부는 초미세먼지 긴급 저감 대책의 일환으로 30년 이상 경과된 10개 노후 석탄발전소 수명 종료 시점에 폐지하되 영동1, 2호기는 연료를 전환하는 것으로 계획하였다[1].

강원도에 위치한 영동1호기는 발전 연료를 석탄에서 2017년 국내 최초, 최대 용량의 친환경 발전 연료 중 하나인 순수 목재를 가공한 친환경 고품연료인 바이오매스(우드펠릿) 발전방식 도입을 통해서 신재생 발전소로 변경하였다.

전 세계적으로는 이미 신재생에너지 확대를 선도하는 영국, 덴마크 및 일본 등이 脫석탄전원 대안 연료로서 바이오매스[우드펠릿]을 널리 활용되고 있는 상황이다[2].

도입에 따라 영동1호기는 기존의 연료로1MWh 전력 생산할 때마다 연소0.170kg의 초미세먼지(PM2.5)를 배출했는데 친환경 발전 연료전환의 도입으로 초미세먼지는 0.083kg수준으로 51.2% 감소되어 전력을 생산하기 시작하였다.

2. 발전기/제어계 특성시험의 배경

1996년 7월 미국 서부, 남부, 캐나다 및 멕시코에서 동시에 발생한 대형정전사고와 2006년 독일 정전사고를 시작으로 서유럽 전체에 걸쳐 발생한 대규모 정전사고의 사례와 비슷하게 국내에서도 2011년 전국적인 대정전이 발생한 사례가 있다.

전력계통에서 발생한 사고의 재현, 설비 증설을 위한 안전성 검토 및 계통운영의 계획 수립을 위하여 정확한 안정도 해석용 데이터 확보는 필수적이며 특히 계통이 복잡해짐에 따라 나타나는 여러 가지 불안전 요인을 규명하고 대책을 수립하는데 필요하다.

계통의 신뢰도 확보를 위해 발전사업자는 산업부 고시 제 2012-296호에 의거 정격용량 20MVA이상의 발전기, 여자기, 조속기 및 계통안정화장치 등의 신·증설 및 변경 시, 여자기, 조속기 및 계통안정화장치의 모듈 교체 시점에 전력설비의 성능 확인

을 법적 의무화하였다.

또한, 근래 태양광, 풍력 등과 같은 신재생에너지원의 증가에 따른 전력시장 운용의 신뢰도 확보측면에서 발전기와 제어계에 대한 특성자료 확보가 요구 되고 있다.

본 연구에서는 국내최초로 친환경 발전 연료 변환 및 설비 교체에 따른 영동1호기의 발전기·제어계 중요 설비 교체에 따른 산업부 고시“전력계통 신뢰도 및 전기품질 유지기준” 제 32조에 의거 발전기 기술특성시험을 통하여 발전기/제어계 모델 정수 도출 및 검증을 수행하였다[3,4].

II. 영동 1호기 발전기/제어계 특성시험

1. 영동1호기 시설제원

그림 1은 영동1호기 전력계통도로 125MW급 1기로 발전하여 강원도 동해 및 강릉지역에 전력을 공급하고 있다. 표 1은 영동1호기 발전기 및 여자기 설비사양이다.

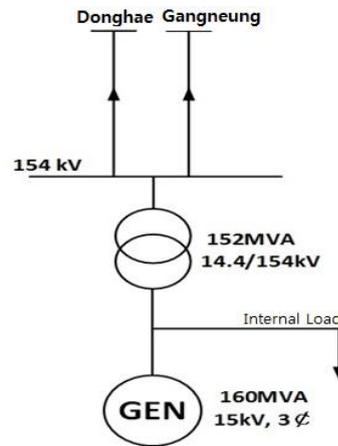


Fig. 1. Power System Diagram of YeongDong CC #1. 그림 1. 영동1호기 전력계통도

Table 1. Generation Diagram of YeongDong CC #1. 표 1. 영동1호기 발전 설비 사양

Equipment	Equipment Specification
Generator	Rated Mva : 160 MVA, 0.85PF
	Rated Voltage(Vt) : 15 kV
	Rated Current(It) : 6,119 A
	PT Ratio : 15,400V/110V
	CT Ratio : 8,000A/5A
Exciter	Exiter Type : Static
	Model Name : KDR2000
	AVR Type : PI
	Rated Field Voltage : 375VDC
	Rated Field Current : 912A

2. 발전기 모델정수 도출 및 검증

가. 발전기 무부하 포화정수 결정

무부하 포화정수는 발전기를 무부하, 정격 회전수로 운전하고 여자전류를 변화시켜 단자전압과의 관계를 도출하고 발전기 여자전류 PU기준을 정한다. 발전기 단자전압의 기준값 15kV에서 여자시스템 운전방식을 AVR에서 FCR로 변경하고 발전기 전압 72%~104%의 범위에서 표 2와 같이 무부하 포화곡선 시험을 수행하였다.

Table 2. No-Load Saturation Data.

표 2. 영동1호기 측정된 무부하 포화곡선 데이터

Freq.(Hz)	Vt (kV)	Ifd (A)	Efd (V)
60.432	10.837	258.425	78.401
60.413	11.287	271.402	80.352
60.422	11.729	283.558	84.567
60.383	12.196	296.638	85.956
60.465	12.645	309.362	89.492
60.395	13.091	322.394	95.418
60.435	13.541	335.641	96.634
60.417	13.963	348.368	101.523
60.553	14.398	363.495	106.714
60.398	14.876	380.426	112.545
60.445	14.997	384.821	113.179
60.471	15.091	389.076	113.849
60.393	15.208	393.404	116.219
60.374	15.319	397.711	117.435

무부하 포화곡선 시험데이터를 바탕으로 도출된 기준 계자전류는 표 3에 나타낸 바와 같이 360.3A이다.

그림 2는 영동1호기에서 측정된 데이터를 이용해서 얻어진 무부하 포화곡선이다. 무부하 공극선과 포화곡선으로부터 그려지며 발전기 단자전압이 100%인 경우와 120% 경우의 공극선과 포화곡선의 계자전류로부터 계산된다. "o" 표시는 특성시험 시 측정된 단자전압 데이터로서 측정범위가 0.70~1.05PU 사이의 값이다. 따라서 완벽한 무부하 포화곡선을 얻기 위해서는 측정되지 않은 단자전압 범위까지 보간할 수 있는 방법이 필요하다. 본 해석에서는 최적화 기법을 적용해서 측정된 데이터를 지수함수로 적합하고, 계산된 지수함수를 외삽하여 무부하 포화곡선을 구하였다. 결정된 포화 모델정수는 아래 식 (1), 식 (2)와 같다.

Table 3. Determined No-Load Saturation Values

표 3. 결정된 무부하 포화정수, 15.0kV

Para.	Determined Value	Manufacturer Data	Comparison
Compare Field Current	360.3A	N/A	Exciter Field Current
S(1.0)	0.0805	N/A	
S(1.2)	0.2008	N/A	

$$S(1.0) = \frac{389.3335 - 360.3241}{360.3241} = 0.0805 \quad (1)$$

$$S(1.2) = \frac{518.3069 - 431.6098}{431.6098} = 0.2008 \quad (2)$$

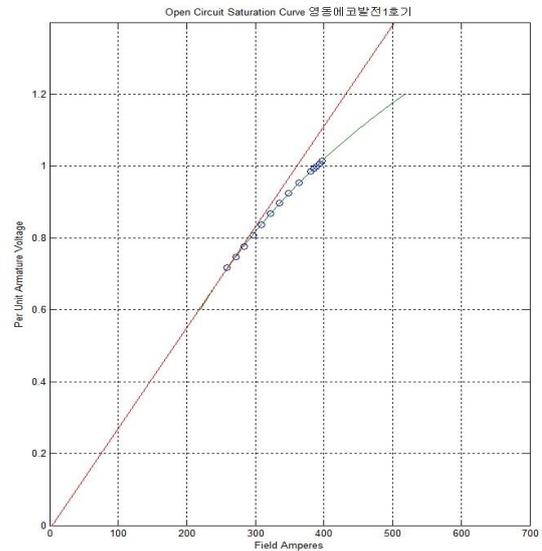


Fig. 2. No-Load Saturation Curve.

그림 2. 영동1호기 무부하 포화곡선, 기준전압=15.0kV

나. V-곡선시험

V-곡선시험은 여자전류와 단자전압의 관계를 구하기 위한 시험이다. V-곡선시험은 부하조건에 따른 Xd(직축 동기리액턴스)와 Xq(횡축 동기리액턴스) 결정 및 검증 모의 초기조건 검증을 수행하여 포화특성을 비교 검증할 수 있다.

발전기가 계통에 병입되어 정상 운전되고 있는 상태에서 유효 출력(터빈조정)을 일정수준(100%, 75%, 50%, 25% MW)으로 조정한 다음 각 부하 수준에서 전압을 조정하여 무효전력 출력(여자시스템 조정)을 조정(-20%, -10%, 0%, 10%, 20% Mvar) 하면서 단자 전압과 여자전류의 관계를 측정한다. 부하각은 치차 센서에서 나오는 고주파 치차 신호 3.6kHz를 부하각 장치를 통해 120hz로 변환하여 발전기 고정자 전압의 위상과 비교하고 표 4에 정

리하였다.

직축·횡축 동기 리액턴스와 포화정수를 이용하면 발전기 유효전력, 무효전력, 그리고 단자전압을 초기 값으로 하여 계자전류와 부하각을 모의할 수 있다. 이때 측정된 계자전류와 부하각 데이터를 가장 잘 모의하도록 하는 2축 동기 리액턴스(Xd/Xq)를 재결정하는 것이 가능하다[5, 6].

Table 4. Measured V-Curve Data

표 4. 영동1호기 측정된 V-곡선시험 데이터 (base=160MAV, 15.0kV)

Vt (kV)	P (MW)	Q (Mvar)	Ifd (A)	Efd (V)
14.074	106.634	-9.486	548.720	168.252
14.200	106.972	-0.466	575.732	178.879
14.367	107.600	10.449	609.903	189.628
14.496	107.305	20.469	640.311	199.149
14.631	107.828	30.271	670.280	210.550
14.038	93.401	-10.222	504.530	158.673
14.185	93.107	0.642	537.173	169.741
14.317	92.343	10.154	563.272	173.313
14.458	92.502	20.902	600.290	187.399
14.598	91.625	30.313	626.683	194.565
14.024	61.349	-9.768	410.870	122.819
14.154	61.259	0.881	448.014	137.534
14.275	61.375	10.447	484.824	146.471
14.402	61.452	19.714	525.292	160.504
14.539	61.239	30.674	561.024	172.324
14.036	31.367	-10.628	341.206	102.160
14.166	31.657	0.357	386.631	113.677
14.311	31.766	10.231	429.201	125.159
14.452	31.520	20.651	474.794	144.875
14.586	31.529	30.319	514.505	156.548

재결정된 Xd와 Xq는 표 5와 같다. 본 해석에서는 식 (3)과 같은 Matlab의 최적화 기법을 적용하여 계자전류와 부하각을 최소로 하는 값으로 Xd/Xq를 결정할 수 있다.

$$\min \sum \frac{1}{2} (i_{fd_mea} - i_{fd_cal})^2 + (\delta_{mea} - \delta_{cal})^2 \quad (3)$$

Xd는 계자전류의 오차에 민감하게 반응하고, Xq는 부하각 오차에 민감하다. 식(3)을 이용하여 두 값을 모두 동시에 최적 튜닝 하는 것이 좋은 수렴 결과를 보여준다.

또 다른 Xd/Xq 모델정수 튜닝은 PSS/E 프로그램의 VCV.exe.를 이용하여 수동적인 시행착오법으

로 수행할 수 있다. 최적화 기법에 의해서 결정된 정상상태 동기기 모델정수 값은 표 5와 같다.

결정된 동기 리액턴스는 직축인 경우 Xd = 1.789PU, 횡축인 경우 Xq = 1.382PU 이다. 동기기 정상상태 모델정수 결정은 제작사의 값을 초기값으로 하여 측정된 결과가 나오도록 동기기 모델정수를 조종하여 최종 결정하였다. 제작사 V-곡선은 그림 3과 같고, 영동1호기 과여자 제한장치(OEL)에서 설정된 110%(2.78)의 PU값도 함께 표시하고 있다[7].

Table 5. Model Parameters Determined.

표 5. 결정된 영동1호기 모델정수값과 제작사 값비교

Para.	Determined Data	Manufacturer Data
Xd	1.789	1.700
Xq	1.382	1.700
Xd'	0.200	0.160
Xq'	0.450	0.240
X''	0.131	0.12
Xl	0.110	0.110
S(1.0)	0.080	0.132
S(1.2)	0.200	0.409

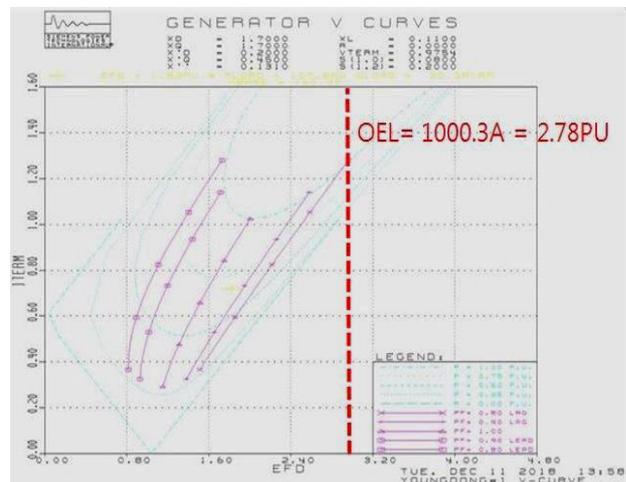


Fig. 3. V-CURVE and OEL Setting Value.

그림 3. 영동1호기 V-CURVE 및 OEL 설정치

다. 무효전력 한계시험

무효전력 한계시험의 목적은 발전기가 정격 100% 출력에서 최대·최소로 출력할 수 있는 무효전력 공급능력을 확인하는 시험이다.

여기서 도출된 최대 무효전력 운전점은 안정도 조류 계산의 무효전력 한계치로 제공된다. 무효전력 한계치는 여차시스템의 UEL, OEL 설정치와 변압기 설정 탭에 따라 영향을 받는다. 영동 1호기 여

자시스템에 설정된 OEL, UEL 한계치 및 변압기 운전 탭은 아래와 같다.

(1) OEL 형식 및 설정값

- Full Load 정격 발전기 계자전류(AFFL) : 912A
- Off-line OEL Pick Up(50 % AFFL) : 456A
- On-line OEL Pick Up(105 % AFFL) : 957.6A
- OEL 형식 : 반한시 특성

(2) UEL 형식 및 설정값

- 48MW -48Mvar
- 96MW -48Mvar
- 144MW -48Mvar
- 192MW 96Mvar

(3) GSU 변압기 운전 현황 : 161kV/14.4kV 변압기 (3번 탭)

영동 1호기 평상시 정격 100% 출력은 125MW이다. 따라서 정격출력을 125MW으로 하는 경우, 이때 정격 역률 0.85에서 낼 수 있는 동기기의 무효전력값은 그림 4의 용량곡선에서 구하면 40Mvar가 된다.

이 값은 정상상태 때 계통에서 요구할 수 있는 정격 최대 무효전력값이다.

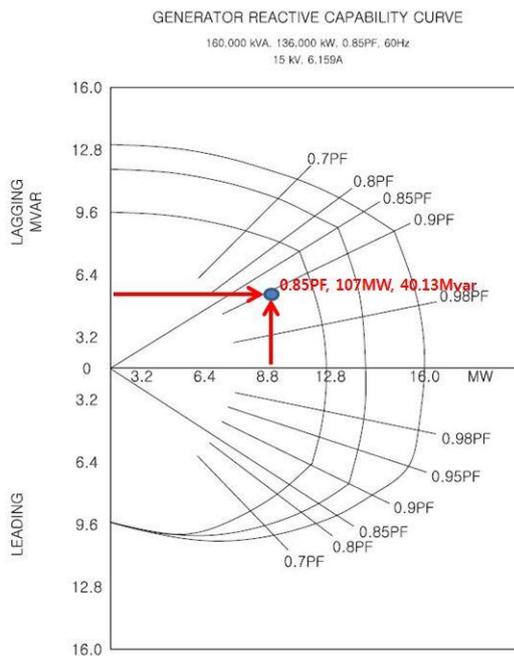


Fig. 4. Rated Reactive Power Output
그림 4. 영동1호기 107,4MW에서 정격 무효전력 출력

라. 무효전력 한계시험 결과

영동 1호기 107MW 운전 중에 무효전력 한계시험에서 측정된 결과는 표 6과 같다. 최대 무효전력을 제한하는 요인은 정격 Mvar인 40Mvar이다.

영동 1호기 출력 107MW에서 최대 무효전력 40 Mvar 운전조건에서 15분간 연속운전을 실시하여 최대 무효전력 공급능력을 확인하였다.

최소 무효전력 한계시험은 발전기 단자전압을 95%까지 내렸지만, 최소 무효전력까지 운전하는 것은 한계가 있었다. 이러한 이유로 영동 1호기는 출력 107MW에서 가장 낮은 무효전력은 -17Mvar였다. 참고로 영동 1호기 107MW 정격 출력에서 UEL에 설정된 값은 -48Mvar이다. 정격100% 출력에서 영동1호기 최대 무효전력 한계시험 절차는 WECC에서 제시하는 무효전력 한계시험 절차를 참고하였다.

Table 6. Max/Min Limiting power test data

표 6. 영동1호기 최대/최소 무효전력 한계치 시험측정 결과

	Vt (kV)	Pe (MW)	Qe (Mvar)	Ifd (A)	Efd (V)	Limiting factor
MAX	14.751	107.405	40.136	699.445	221.991	Max Reactive power (40Mvar)
MIN	13.576	106.598	-17.346	530.343	162.007	Terminal Voltage (90%)

3. 여자시스템 모델정수 도출 및 검증

가. 여자시스템 모델정수 결정

영동 1호기의 제작사 모델은 그림 5의 “ESST 4B” 모델과 같다. ESST4B 모델을 이용하여 무부하

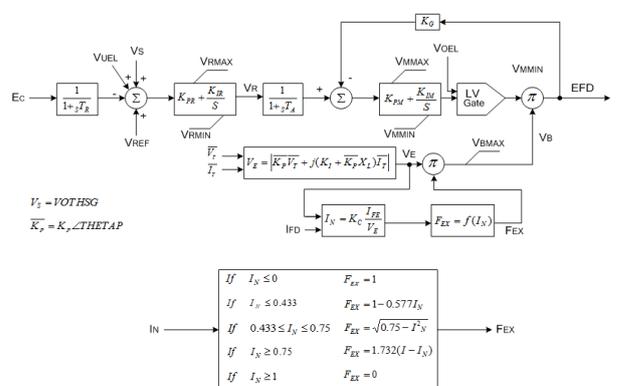


Fig. 5. The transfer function diagram of excitation system (ESST4B).

그림 5. 여자시스템 전달함수도(ESST4B)

AVR 스텝시험과 앞절의 부하차단 시험을 모의하여 여자시스템 모델 정수를 결정하였다. 부하차단 시 측정된 데이터를 모의하였고 발전기 계자시정수 $T'do = 6.70 \text{ sec}$ 로 결정하였다[8].

나. 여자시스템 모델정수 검증

그림 6은 결정된 여자시스템 모델정수와 발전기 정수를 이용하여 영동 1호기 오프라인 3% AVR 스텝시험인 경우 단자전압을 모의하고 측정된 결과를 비교하여 모델정수를 검증한 것이다. 측정된 결과와 모의된 결과는 일치하였다.

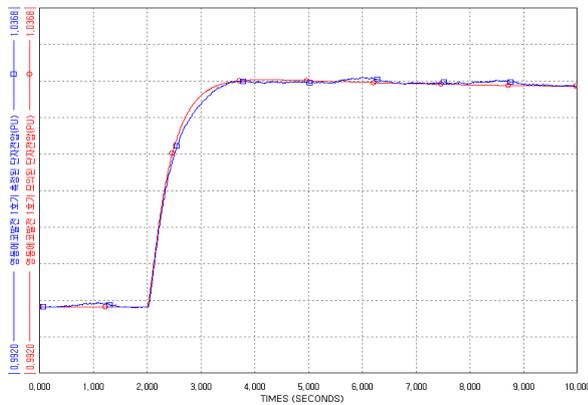


Fig. 6. No-Load 3% AVR Step Measured Terminal Voltage(Blue) Simulated Terminal Voltage(Red).

그림 6. 영동 1호기 무부하 3% AVR Step 측정된 단자전압(Blue)과 모의된 단자전압(Red) 비교

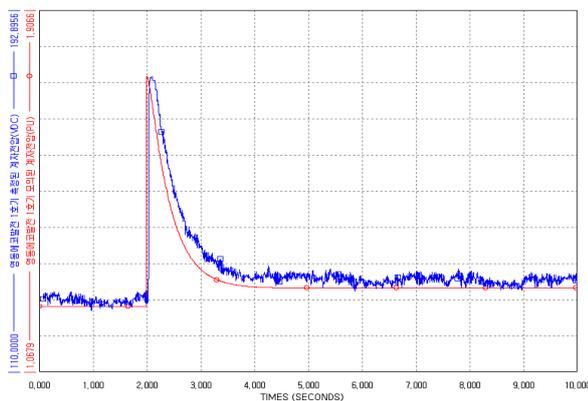


Fig. 7. No-Load 3% AVR Step Measured Field Voltage (Blue) Simulated Field Voltage(Red).

그림 7. 영동 1호기 무부하 3% AVR Step 측정된 계자전압 (Blue)과 모의된 계자전압(Red) 비교

그림 7은 결정된 여자시스템 모델정수와 발전기 정수를 이용하여 영동 1호기 무부하 AVR Step

3% 시험시 측정된 계자전압(Efd)과 모의된 계자전압(Efd)을 비교하고 있다. 측정된 결과와 모의된 결과는 일치하고 있다. 따라서 모의된 결과와 측정된 결과를 재현하고 있기 때문에, 결정된 여자시스템 모델정수를 검증할 수 있다.

4. 조속기·터빈 모델정수 도출 및 검증

가. 조속기·터빈모델정수 결정

영동 1호기 조속기/터빈에 맞는 PSS/E 프로그램의 그림 8과 같은 IEEEG1 모델이다. 모델 블록도와 입력정수는 간단하지만 안정도를 모의하는 방법으로는 매우 효과적이다.

결정된 IEEEG1 모델정수는 영동 1호기에 적용한다. 최대무효전력 공급능력 시험시 Gov/Free 운전도 병행하였는데 유효한 주파수 변동과 발전기 유효전력 변동이 기록된 것이 없어서 속도조정을 보수적으로 6%로 가정한다.

결정된 IEEEG1 모델정수는 PSS/E 프로그램을 이용하여 3상 단락사고 및 조속기 스텝시험 상정사고를 모의하여 수치안정성을 확인하였다.

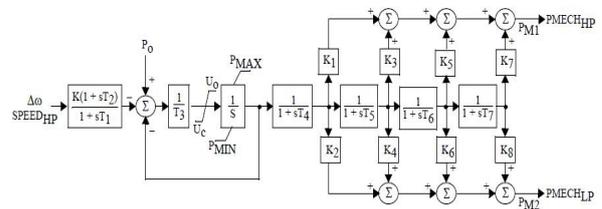


Fig. 8. The transfer function diagram of Turbine(IEEEG1). 그림 8. 조속기·터빈 모델(IEEEG1)

나. 조속기·터빈 모델정수 검증

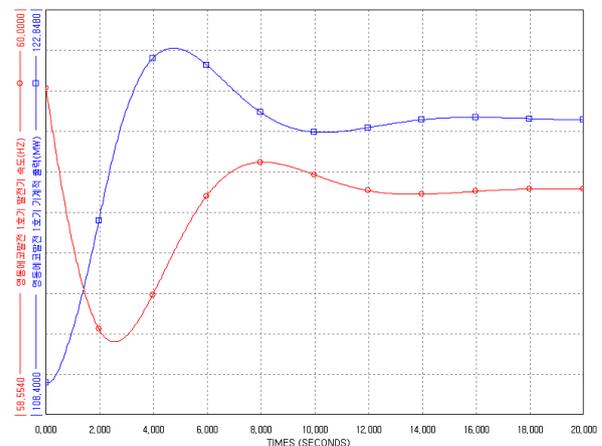


Fig. 9. PSS/E Simulation of the governer step test.

그림 9. PSS/E를 이용한 147MW, 10% 조속기 스텝시험 모의: 기계적 출력(Blue), 터빈속도(Red)

그림 9는 PSS/E 프로그램을 이용하여 영동1호기 조속기 스텝시험을 모의한 것이며, 발전기 속도(Speed)와 기계적 출력(MW)를 보여준다.

조속기 스텝시험 모의는 발전기 초기출력 조건이 147MW이고, 10%(16MW) 스텝을 입력하는 것으로 하였다. 이 모의로부터 결정된 영동 1호기 조속기 모델정수가 안정된 특성을 보여준다는 것을 알 수 있다.

그림 10은 PSS/E 프로그램을 이용하여 발전기 모선에 12 사이클 3상 단락사고를 인가 후 제거했을 때 발전기 유효전력, 속도 그리고 기계적 출력을 모의한 것이다. 이와 같이 모의한 이유는 계통에 큰 외란이 발생하더라도 결정된 영동 1호기 모델정수는 안정되게 모의할 수 있음을 보여주기 위함이다. 모의에 사용된 모델정수는 앞 절에서 결정한 발전기, 여자시스템, 조속기/터빈 모델을 모두 고려하여 모의하였다. 출력은 136MW로 가정하였다[9, 0].

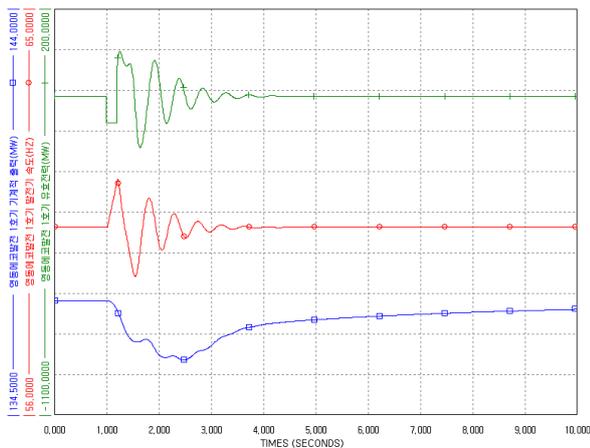


Fig. 10. PSS/E Simulation of the three-phase test.

그림 10. 상 단락사고 시 출력/속도 응답특성

III. 결론

본 논문은 1972년 국내무연탄과 유류를 혼소하는 발전설비를 2017년 국내최초, 최대 용량의 친환경 발전 연료 중 하나인 순수 목재를 가공한 친환경 고형연료인 바이오매스[우드펠릿] 전소 발전방식을 도입하여 발전기·제어계 중요 설비 교체에 따른 산업부 고시 “전력계통 신뢰도 및 전기품질 유지기준” 제 32조 발전설비 신/증설시 발전설비 특성자료를 제출에 의거 발전기 기술특성시험을 실시하였으며, 시험을 통하여 발전기/제어계 모델정수 도

출 및 검증을 수행하였다.

발전기 연료변경에도 해당 발전기 설비의 성능 및 여자시스템의 전압제어특성이 양호함을 재확인하였다. 차후 화석연료를 신재생 연료로 교체시 기여할 수 있다.

References

- [1] Abolition of 10 Years Old Coal Fired Over 30 Years, *Ministry of Trade, Industry and Energy*, 2016.
- [2] Supply and demand of world biomass (wood pallet), *KEEI*, Vol.17, No.25. 2017.
- [3] D. Kim, Y. Moon, J. Lee, H. Ryu and T. Kim, “A New Method of Recording Generator Dynamics and Its Application to the Derivation of Synchronous Machine Parameters for Power System Stability Studies,” *in IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol.33, no.2, pp.605–616. 2018. DOI: 10.1109/TEC.2017.2772234
- [4] Kyung-Sun Choi, Young-Hwan Moon, Dong-Joon Kim, Jin-Boo Choo, Seung-Heon Lyu, Tae-won Kwon, “Modeling and Verification of Generator/Control System of Seo-Inchon Combined-Cycle Plant by Load Rejection Test,” *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, Vol.45, No.4 pp.501–510, 1996.
- [5] P. Kundur, *Power System Stability and Control* McGraw-Hill Inc. 1994.
- [6] “421.5–2016–IEEE Recommended Practice for Excitation System Model for Power System Stabilities,” *IEEE*, 2016. DOI: 10.1109/IEEESTD.2016.7553421
- [7] “IEEE 421.2–1990–Guide for identification, testing, and evaluation of the dynamic performance of excitation control systems,” *IEEE*, 1990. DOI: 10.1109/IEEESTD.1990.94594
- [8] N. Mohan, T.M Undeland and W.P. Robbins, “*Power electronics, converters, applications, and design*,” *John Wiley & Son, Inc.*, pp.143–146, 1995.
- [9] H. B. Enalou, and E. A. Soreshjani, “A detailed governor-turbine model for heavy-duty

gas turbines with a careful scrutiny of governor features,” IEEE Trans. Power Syst., vol.30, no.3, pp.1435–1441, 2015.

DOI: 10.1109/TPWRS.2014.2342253

[10] P. Kundur, M. Klein, G. J. Rogers, and M. S. Zywno, “*Application of power system stabilizers for enhancement of overall system stability,” IEEE Transactions on Power Systems, vol.4, no.2, pp.614–626, 1989. DOI: 10.1109/59.193836*

Jeong-Uk Kim (Member)



1987 : BS degree in Control and instrumentation Engineering, Seoul National University.

1989 : MS degree in Electrical & Electronic Engineering, KAIST.

1993 : PhD degree in Electrical & Electronic Engineering, KAIST

2010~Present : Professor, Sangmyung Univ.

BIOGRAPHY

Jeong-Min Mun (Member)



2014 : MS degree in dept. of Convergence Tech., Hansung University.

2018 : PhD course in dept. of Energy-grid, Sangmyung University.

2001~Present : Research Engineer, E2S Co., Ltd.

Tae-Kyu Lee (Member)



2016 : BS degree in dept. of Energy-grid, Sangmyung University.

2017 - 2018 : Researcher in Green-Energy Laboratory.

2018 : MS course in dept. of Energy-grid, Sangmyung University.

Woo-Ju Shin (Member)



2017 : BS degree in Computer Science, Seoul Cyber University.

2018 : MS course in dept. of Energy-grid, Sangmyung University.

2011~Present : Research Engineer, E2S Co., Ltd.