

자가용 발전기 모델 정수 결정

김동준, 김학만, 전영환, 김지원, 전진홍, 국경수
한국전기연구원

Determination of Co-generator Model Parameters

D.J. Kim, H.M. Kim, Y.H. Chun, J.W. Kim, J.H. Jeon, K.S. Kook
Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract - This paper presents the derivation of model parameters against a comparatively small industrial power plant, and validates its model parameters using the stored data measured at the time of on-site generator characteristic testing. Dynamic models such as generator, excitation system, and turbine/governor are mainly dealt in this paper. For the purpose of validation of derived model parameters, the measured results are compared with simulation results. Those of the comparisons between measured results and simulation results show good match.

사용되는 연료는 경유이다. 그리고 여자시스템은 brushless 여자시스템이고, 조속기는 우드워드 디지탈 PI제어기를 사용하고 있다. 그리고 동기발전기는 저속의 도시바 14극 돌극형 발전기가 사용되고 있다.

발전기/제어계 특성시험 항목과 측정장치는 아래와 같고, 측정점은 표 2와 같다.

- 시험항목
 - 가. 정상상태 V-curve 시험
 - 나. 부하차단 시험
 - 다. 무부하 포하곡선시험
 - 라. 무부하 개방회로 AVR 스텝 업/다운 시험
 - 마. 무부하 개방회로 조속기 스텝 업 시험
- 측정장비
 - 가. 미국 PTI사의 DSM 장비

1. 서 론

대형 산업체 단지에서는 소비되는 전력을 대형 전력회사인 한전에서 수전 받을 뿐만 아니라 자체적으로 자가용설비를 갖추고 운전하고 있다. 이것은 전력계통에서 임의의 사고가 발생하여 전력공급이 불가능 할 때, 산업체 단지의 중요부하를 감당하여 손실을 최소화 하기 위함이며, 또한 정상시는 전력요금을 절약하는 경제적인 이유도 가지고 있다. 또한, 산업체 단지의 성격에 따라서 정상시 보일러에서 발생하는 열을 이용하여 열병합 운전도 하기도 한다. 소규모의 자가 발전시스템은 대형 전력계통에 비해 그 규모가 미약하므로 계통의 임의의 사고시, 동작하는 보호 계전기의 셋팅, 중요부하를 보호하기 위한 부하차단 전략 등은 자가 발전시스템의 안정도를 결정하는데 매우 중요하다. 이러한 임의의 사고 시를 상정하여 안정도 해석하기 위해서는 발전 플랜트의 정확한 모델링과 그 정수 결정이 요구된다.

본 논문에서는 자가용 발전 시스템을 가지고 있는 L사의 발전 플랜트를 대상으로 측정된 발전기 특성시험데이터를 이용하여 L사 디젤엔진 발전기 2호기에 대한 모델 정수 값들을 신뢰도 있는 값으로 유도하였다. 측정된 무부하 포화시험, 부하차단 시험 그리고 부하 곡선시험 데이터를 이용하여 유도하였으며, 측정된 데이터와 비교하여 그 값들을 검증하였다. 여자기 모델정수는 무부하 개방회로 AVR 스텝시험에서 측정된 단자전압을 모의하여 모델정수를 결정하였고, 조속기/터어빈 모델 정수 유도는 화력기 모델을 이용하여 L사의 조속기와 터어빈 성능특성이 나오도록 튜닝하였다.

표 1 L사 디젤엔진 발전시스템 2호기 설비사양

설비	설명	비고
발전기	상수 : 3 극수 : 14극 용량 : 7375 KVA 회전수 : 514 RPM 정격전압 : 6,600 V 정격전류 : 646 A 주파수 : 60 Hz 역률 : 0.8 여자전압 : 265 V 계사전류 : 177 A 제작처 : 도시바	돌극형 발전기
여자기	극수 : 12 용량 : 75KVA 회전수 : 514 RPM 정격전압 : 225 V 정격전류 : 193 A 여자전압 : 55 V 계사전류 : 16.2 A	Brushless 여자시스템
PMG	극수 : 12 정격용량 : 3 KVA 회전수 : 514 RPM 정격전압 : 80 V 정격전류 : 22 A 주파수 : 51.4 Hz	영구자석 발전기
조속기 시스템	구분 : 전기-유압식 제작처 : 우드워드 원동기 : 디젤 엔진 Fuel : 저유황 경유 (Diesel)	PID 제어

2. 발전기 모델 정수 결정

2.1 대상 발전기 사양

대상 발전기인 L사의 발전기/제어계 모델정수 결정을 위해서 기 시험된 L사의 2호기에 대한 설비사양은 표 1과 같다. 발전기를 회전시키는 원동력은 디젤엔진이며

표 2 L사 2호기 발전기/원동기 측정점

항목	결선점	방법	비고
1	발전기 단자전압	Va, Vb, Vc	PT비 : 6,600/110 V
2	발전기 단자전류	Ia, Ic	CT비 : 1,000/5 A
3	여자기 계자전압	(+), (-)	AVR 제어반
4	여자기 계자전류	(+), (-)	shunt 비 : 30A/50m
5	조속기 속도 신호	Digital Governor	
6	조속기 Actuator 위치 신호	Digital Governor	

2.2 발전기 모델 정수 유도

L사 디젤엔진 발전기 모델 정수 유도는 F.P deMello의 부하차단에 의한 시험방법과 유도방법^[1]을 기본으로 해서 유도하며, 사용된 발전기 모델은 미국 PTI사의 PSS/E의 발전기 모델 "GENSAL"^[6]이다. 그리고 돌극형 발전기에 대한 등가 회로구성은 아래 그림 1과 같고, 이 등가회로에 대한 "GENSAL"의 전달함수 블록도는 그림 2와 같다. 그림 2의 발전기 모델 "GENSAL"에 대한 모델정수 유도는 측정된 포화특성시험, 부하차단시험, V-Curve시험 데이터를 이용하여 아래 절에서 유도한다.

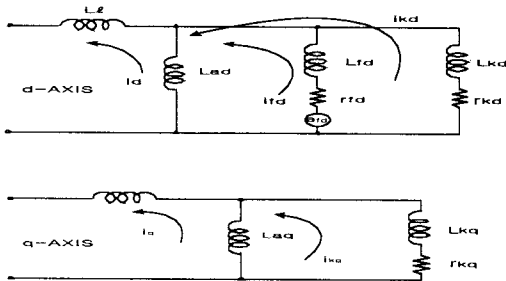


그림 1 돌극형 발전기의 등가 회로도

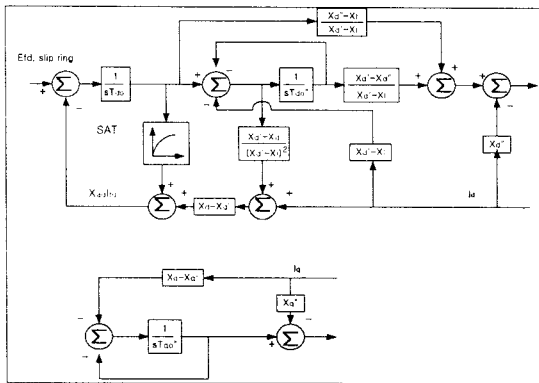


그림 2 돌극형 발전기 모델 "GENSAL"

2.2.1 무부하 포화계수유도

그림 2의 발전기 모델 "GENSAL"의 모델정수 입력으로 사용되는 포화계수를 측정된 표 3의 데이터를 이용하여 무부하 포화곡선을 계산해서 나타내면 그림 3과 같다. 그림 3을 나타내기 위해서 사용된 계산법은 외삽법

과 보간법이다. 얻어진 무부하 포화곡선으로부터 포화계수와 계자전류 기본(base, p.u. 값으로 계산하기 위한 값)값을 결정하면 아래와 같다.

$$S(1.0) = 0.3558$$

$$S(1.2) = 0.6865$$

$$I_{fdbase} = 3.0877 \text{ Adc}$$

표 3 L사 2호기 무부하 포화곡선 시험 결과

Frequency(Hz)	Vab(kV)	ifd(Adc)	Act_s(Vdc)	Vcb(kV)
60.03	5.82	3.30	1.56	5.86
60.03	5.83	3.30	1.56	5.86
60.03	5.94	3.43	1.55	5.98
60.03	6.26	3.82	1.56	6.30
60.04	6.60	4.20	1.55	6.63
60.02	6.66	4.30	1.57	6.70
60.03	6.72	4.35	1.55	6.75
60.02	6.77	4.42	1.57	6.81
60.04	6.84	4.52	1.55	6.88
60.03	6.90	4.58	1.55	6.94
60.03	6.96	4.64	1.55	7.00

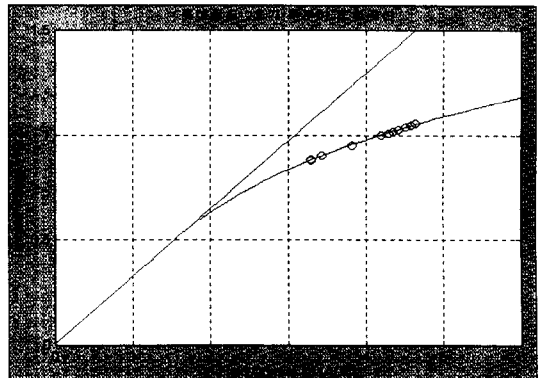


그림 3 2호기 무부하 포화곡선

2.2.2 초기 과도 및 과도 임피던스/시정수 유도

발전기 모델의 초기과도(subtransient)와 과도(transient)상태시의 발전기 임피던스/시정수결정은 부하차단시 단자자속의 변화로부터 유도할 수 있다. 부하차단 전의 발전기 운전조건은 발전기 고정자 전류가 직축 또는 횡축전류만 흐르는 조건이어야만 한다. 고정자 전류가 직축분의 성분이 가질 조건은 유효출력이 제로이어야 하며, 무효전력은 부하차단후의 단자전압상승을 막기 위해서 보통 진상운전으로 둔다. 먼저, 직축 발전기 임피던스와 시정수를 계산하기 위해서 직축 부하조건에서 차단된 측정된 데이터를 이용하고, 발전기 정수를 유도하면 아래와 같다. 유도방법은 앞에서 언급한 바와 같이 문헌^[1]과 같다.

직축 부하차단 조건 : 단자전압 6.57kV, -80 KVAR, 0.0 KW

유도된 정수 : $X_d = 1.28$, $X_d'' = 0.252$, $X_d' = 0.410$
 $T_{do}' = 0.761\text{sec}$, $T_{do}'' = 0.0465$

그림 4는 유도된 직축분 발전기 정수를 이용하여 부하차단시 측정된 단자자속(단자전압에서 주파수 변화분을 제거함)을 모의한 것이다. 측정된 값(노이즈가 많은 자

속)과 모의된 값(노이즈가 없는 자속)가 거의 동일함을 알 수 있다.

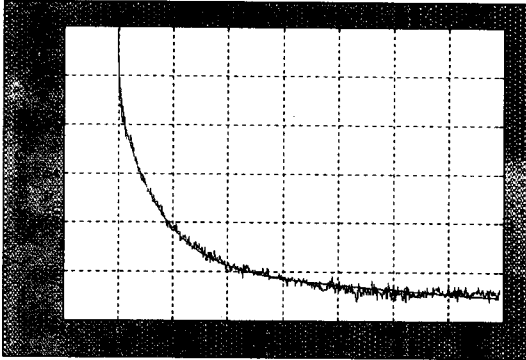


그림 4 2호기 직축정수 유도 및 검증
(발전기 단자자속 모의)

횡축분 발전기 정수 결정은 고정자 전류가 횡축전류만 흐르는 조건에서 차단된 발전기 단자자속을 이용하여 결정한다. 그러나 횡축전류만 흐르는 발전기 운전조건을 만들기 위해서는 축으로부터의 신호를 측정하여 부하각을 계산해야 하나, L사 디젤엔진 발전기는 펄스로 된 축신호를 측정하는 것이 거의 불가능하였다. 이러한 이유로, 횡축정수 유도를 위한 부하차단은 대충 횡축분 고정자 전류가 지배적인 조건인 유효전력과 무효전력의 비가 10:1정도의 조건에서 차단된 단자자속을 이용하여 유도한다. 부하차단 조건과 유도된 횡축분 정수는 아래와 같다.

부하차단 조건 : 587 KW, -69.5 KVAR, $V_t=6.5732$
유도된 발전기 횡축분 정수 : $X_d=0.43$, $T_{qo}''=0.0470$ s

그림 5는 위 운전조건에서 차단된 후의 단자자속을 모의한 것이다. 모의된 값(+)과 측정된 단자자속(-)이 거의 동일함을 알 수 있다.

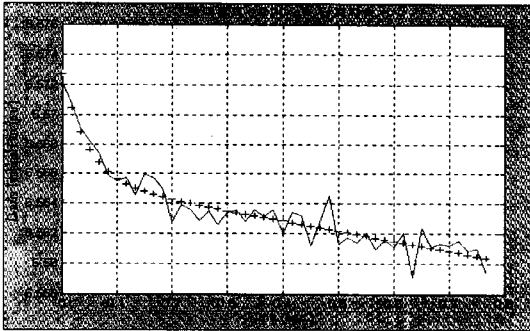


그림 5 L사 2호기 횡축정수 유도 및 검증
(측정된 단자자속 모의)

2.2.3 정상상태 직축/횡축 동기 임피던스 결정

표 4와 같이 정상상태에서 측정된 V-curve 시험 데이터를 이용하면, 앞에서 결정된 정상상태 직축/횡축 동기 임피던스(X_d , X_q)를 더 정확하게 결정할 수 있다. 앞에서 부하차단시 유도된 동기 임피던스는 저부하에서 유도된 값으로 정격운전 상태에서의 발전기의 포화특성 등

을 제대로 반영되지 못하는 특징이 있다. 여기서 누설 임피던스는 시험법이 매우 번거롭고 그렇게 중요하지 않은 값이므로 대표적인 값 $X_l=0.150$ 으로 설정한다.

표 5과 같이 측정된 계자전류를 최적화로 모의할 수 있는 값은 아래와 같다. 계자전류 모의는 직축 동기 임피던스 변화값에 매우 민감하며, 부하각은 횡축 동기 임피던스에 민감하다. 만약 부하각이 측정 가능하였으면, 더 정확한 횡축 동기 임피던스를 결정 가능할 수 있었을 것이다. 사용된 해석기법은 최적화 기법이며, 결정된 값은 측정된 계자전류와 모의된 계자전류값의 목적함수가 최소가 되는 직축/횡축 동기 임피던스 값이다.

결정된 동기 임피던스 : $X_d=1.5735$ $X_q=0.8346$
누설 임피던스 : $X_l=0.150$ (가정한 값)

표 4 L사 2호기 부하곡선 시험 결과

Freq (Hz)	Vab (kV)	P (MW)	Q (MVAR)	Ifd (A _{dc})	Act (V _{dc})	Vcb (kV)
60.007	6.519	1.466	0.091	4.326	2.943	6.587
59.966	6.564	1.526	0.618	4.920	2.984	6.631
59.961	6.595	1.499	1.145	5.454	2.946	6.662
59.965	6.648	1.473	1.632	5.940	2.944	6.717
59.996	6.690	1.967	2.074	6.492	3.208	6.755
59.984	6.666	1.997	1.569	5.970	3.228	6.732
59.990	6.616	2.030	1.050	5.382	3.226	6.681
59.973	6.560	2.036	0.609	4.920	3.243	6.626
59.996	6.522	2.013	0.092	4.440	3.229	6.589
59.956	6.524	2.508	0.065	4.638	3.536	6.589
59.949	6.561	2.569	0.593	5.160	3.550	6.626
59.987	6.605	2.460	1.092	5.598	3.500	6.673
60.010	6.657	2.449	1.578	6.084	3.466	6.727
59.944	6.693	2.521	2.075	6.630	3.505	6.761
59.962	6.695	3.020	2.029	6.696	3.825	6.764
59.975	6.653	2.975	1.631	6.240	3.790	6.720
59.947	6.605	3.023	1.096	5.730	3.851	6.669
59.946	6.559	3.019	0.589	5.238	3.840	6.622
59.951	6.509	3.002	0.078	4.806	3.809	6.574
59.934	6.510	3.534	0.056	4.986	4.137	6.572
59.961	6.560	3.469	0.581	5.442	4.103	6.624
59.967	6.605	3.472	1.069	5.946	4.089	6.670
59.965	6.637	3.476	1.515	6.330	4.116	6.704
59.959	6.676	3.517	2.073	6.882	4.151	6.742

표 5 측정된 정상상태 계자전류 모의
(Base MVA=7.375, KV=6.6)

단자전압 (V)	P (MW)	Q (MVAR)	Ifd(A _{dc}) (측정된 값)	ifd(A _{dc}) (계산된 값)	% error
6.519	1.466	0.091	4.326	4.287	-0.896
6.564	1.526	0.618	4.920	4.971	-0.994
6.595	1.499	1.145	5.454	5.437	-0.306
6.648	1.473	1.632	5.940	6.003	1.060
6.690	1.967	2.074	6.492	6.594	1.568
6.666	1.997	1.569	5.970	6.042	1.201
6.616	2.030	1.050	5.382	5.456	1.383
6.560	2.036	0.609	4.920	4.949	0.597
6.522	2.013	0.092	4.440	4.396	-1.000
6.524	2.508	0.065	4.638	4.493	-3.132
6.561	2.569	0.593	5.160	5.058	-1.970
6.605	2.460	1.092	5.598	5.577	-0.380
6.657	2.449	1.578	6.084	6.130	0.750
6.693	2.521	2.075	6.630	6.704	1.120
6.695	3.020	2.029	6.696	6.775	1.184
6.653	2.975	1.631	6.240	6.305	1.048
6.605	3.023	1.096	5.730	5.725	-0.080
6.559	3.019	0.589	5.238	5.177	-1.160
6.509	3.002	0.078	4.806	4.633	-3.599
6.510	3.534	0.056	4.986	4.796	-3.805
6.560	3.469	0.581	5.442	5.314	-2.349
6.605	3.472	1.069	5.946	5.834	-1.884
6.637	3.476	1.515	6.330	6.312	-0.278
6.676	3.517	2.073	6.882	6.936	0.784

2.2.4 관성계수 유도와 결정된 발전기 모델 상수

발전기 관성계수 결정방법은 식 (1)의 발전기 동요방정식(swing equation)과 측정된 부하차단 데이터를 이용하여 유도 결정된다. 부하차단 직후에는 전기적 출력이 바로 제로로 가지만 기계적 출력은 일정한 값을 유지한다. 그리고 부하차단 후 측정된 주파수를 데이터 처리하여 미분하면 쉽게 관성 계수 H를 계산할 수 있다.

$$2H \frac{d\omega}{dt} = P_{mech} - P_{elec} = Pa(\text{가속력}) \quad (1)$$

관성계수 H를 결정하기 위해서 587KW에서 부하차단된 데이터를 이용하여 관성계수를 결정한다. 부하차단후의 가속력(Pa)은 기계적 토크와 같으면 이 값은 전기적 출력 587KW와 동일하다. 주파수 변화분은 차단직후의 주파수의 기울기 값이다. 이 두 값을 이용하여 관성 계수 H를 계산하면 아래와 같이 H=1.71이다. 결정된 관성계수 H에 대한 검증은 아래 절 조속기/터빈 모델정수결정 절에서 측정된 주파수와 모의된 주파수의 비교로부터 알 수 있다. 최종 결정된 L사 디젤엔진 발전기 2호기에 대한 발전기 정수는 표 6과 같다.

관성계수(Machine Base : 7.375 MVA) :

$$H = \frac{\Delta P_a}{2 \frac{d\omega}{dt}} = \frac{0.587/7.375}{2 * 0.02329} = 1.71$$

표 6 결정된 발전기 "GENSAL" 모델 정수
(BASE MVA=7.375 MVA)

정수	정수 값	정수	정수 값
T _{do'}	0.741	X _q	0.8346
T _{do''}	0.0465	X _{d'}	0.410
T _{qo''}	0.0470	X''	0.252
H	1.71	X _i	0.150
D	0.00	S(1.0)	0.3558
X _d	1.5735	S(1.2)	0.6865

2.3 여자기 모델 정수 유도

L사 2호기의 여자시스템의 간략 블록도는 그림 6과 같으며, 이 여자시스템은 brushless 여자시스템이다. 이 모델에 맞는 PTI PSS/E모델은 그림 7과 같은 "IEEEX2" 모델로써, IEEE에서 brushless 여자시스템에 적합하다고 추천하는 모델이다.

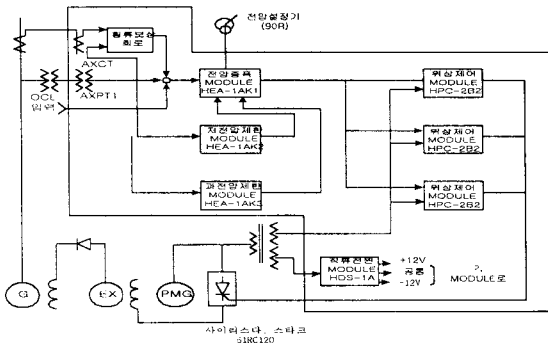


그림 6 디젤엔진발전기 여자시스템 블록도

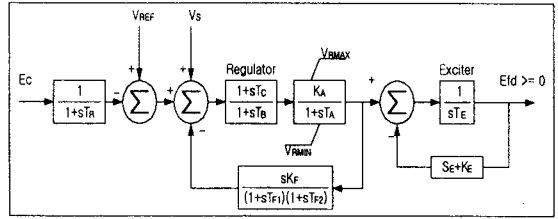


그림 7 IEEE Blushless 여자기/AVR 모델 "IEEEX2"

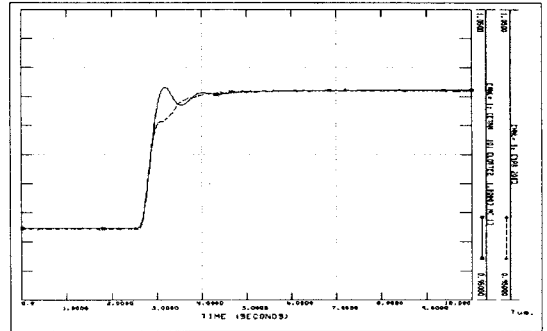


그림 8 무부하 개방회로 AVR 스텝업 시험시 발전기 단자전압 모의
(실선 - : 모의전압, 단선 - - : 측정된 전압)

IEEEX2 모델정수 결정은 무부하 개방회로 AVR 스텝업 시험에서 측정된 단자전압을 모의할 수 있는 값으로 결정되었다. 실제 AVR 스텝업 시험은 그림 6의 "90R" 전압설정기 가변저항을 순간변화시켜 스텝을 인가하였다. 표 7은 결정된 IEEEX2 모델정수이며, 이 값을 이용하여 측정된 발전기 단자전압 스텝업 시험을 모의하면 그림 8과 같다. 그림 8은 모의된 전압(실선-)이 측정된 전압(단선:-)을 초기상승시 제대로 모의하지 못하는 것을 보여주는데, 이것은 전압설정기 "90R"을 조정해서 순간적으로 저항을 변화시키도록 스텝시험을 하였지만 실제로는 약간의 비선형특성과 시간지연이 존재하여 PSS/E 프로그램으로 모의시 그러한 비선형적인 스텝인 가특성을 완전히 표현할 수 없는데서 기인한다. 그러나 결정된 모델정수는 brushless 특성이 나오도록 결정되었으며, 실제 L사 여자시스템의 응답특성과 거의 비슷하게 유도되어 안정도 해석시 별다른 우려없이 사용해도 된다. 더불어, 여자기의 포화는 일반적인 값으로 제공하였다.

표 7 결정된 "IEEEX2" 여자기 모델 정수

정수	정수 값	정수	정수 값
T _R	0.015	T _E	0.250
K _A	250.0	K _F	0.0
T _A	0.015	T _{F1}	1.0
T _B	20.0	T _{F2}	1.0
T _C	1.00	E ₁	3.0
V _{RMAX}	4.00	S(E ₁)	0.30
V _{RMIN}	-4.00	E ₂	4.50
K _E	1.00	S(E ₂)	0.800

2.4 조속기/터어빈 모델 정수 유도

L사 터어빈 시스템은 디젤엔진이며 조속기는 우드워드 디지털 PI형 조속기이다. 이 시스템에 맞는 미국 PTI사의 PSS/E 프로그램의 내부 조속기 모델은 없는 것으로 판단된다. 이러한 이유로 본 유도결정에서는 그림 9와 같은 화력기 조속기/터어빈 모델 "IEESGO"를 이용하여 L사 조속기/터어빈 시스템의 특성이 나오도록 결정하였다. 결정된 모델정수는 표 8과 같다. K_1 의 결정은 측정된 주파수의 드롭특성으로부터 계산되었으며, T_4 와 T_5 는 밸브의 액츄에이터 시간지연특성이 나오도록 설정했고, T_1 , T_2 그리고 T_3 는 제어기의 성능특성이 나오도록 튜닝하였다. P_{MAX} 값은 기계 기본값 7.375 MVA의 85%에 해당되는 값으로, 발전기가 출력할 수 최대 발전량을 가정한 것이다. 이 값은 추후 안정도 해석시 엔진니어가 정확한 값으로 대체할 수 있다.

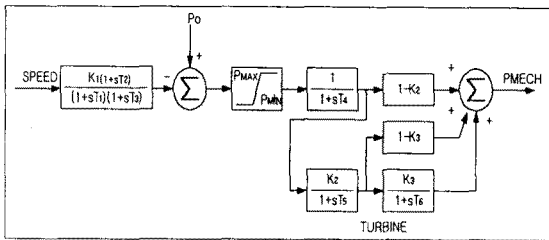


그림 9 IEEE Standard Model "IEESGO" 조속기/터어빈 모델

표 8 IEESGO 터어빈/조속기 모델 정수
(Machine Base : 7.375 MVA)

정수	정수 값	정수	정수 값
T_1	0.01	K_1	17.69
T_2	0.10	K_2	1.0
T_3	0.05	K_3	0.0
T_4	0.65	P_{MAX}	0.85
T_5	0.05	P_{MIN}	-0.2
T_6	0.00		

그림 10은 무부하 개방회로로 조속기 스텝업 시험시 측정된 주파수 편차를 모의한 것으로, 모의된 주파수 편차(실선)와 측정된 주파수 편차(단선)가 대체적으로 잘 일치하고 있다. 측정된 주파수 편차에는 약간의 주파수 동요가 있음을 알 수 있는데, 이 동요주파수를 살펴보면 약 0.25 Hz의 동요이다. 이러한 주기가 긴 동요는 디젤엔진이 갖고 있는 기계적 고유 동요주파수라고 여겨지며 (혹은, 가능성은 적지만, 액츄에이터에서 발생할 수 있음), 전기적으로 이러한 동요는 산업체 시스템에서 거의 나타나지 않는다. 이와 같은 기계적 동요주파수를 모의하기 위해서는 디젤엔진의 기계적 특성을 상세히 모델링해야 하는데, 이것은 안정도 해석의 범위에 벗어나는 모델링이 된다. 여기서는 이러한 특성을 무시한다. 그림 11은 부하차단후의 주파수 편차 변화를 모의한 것으로, 모의된 주파수(실선)와 측정된 주파수(단선)이 잘 일치함을 알 수 있고, 부하차단 직후의 초기 주파수 편차 변화는 두 개가 거의 일치하고 있어 유도된 관성계수 H가 정확함을 확인할 수 있다. 또한 두 개의 주파수가 정상상태로 수렴시 잘 일치하므로 드롭을 표현하는 정수 $K_1=17.69$ 를 검증할 수 있다. 그림 11에서 측정된 긴 동요모드는 그림 10에서 언급한 디젤엔진의 기계적 동요모드라 또한 사료된다.

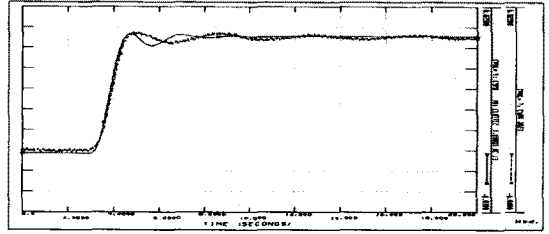


그림 10 무부하 개방회로 조속기/터어빈 스텝업 시험 모의 (실선 : 모의된 주파수 편차, 단선 : 측정된 주파수 편차)

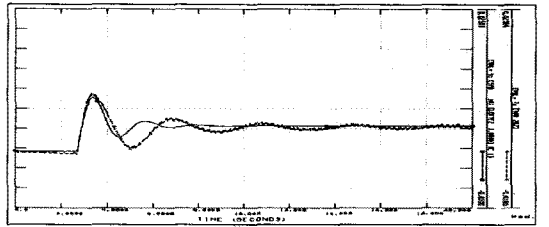


그림 11 부하차단(587kW) 후 주파수 편차 변화 모의 (실선 : 모의된 주파수 편차, 단선 : 측정된 주파수 편차)

3. 결 론

본 논문에서는 기 측정된 발전기 특성시험데이터를 이용하여 L사 디젤엔진 발전기 2호기에 대한 모델 정수값들을 신뢰도 있는 값으로 유도하였고, 여자기 모델정수는 무부하 개방회로 AVR 스텝시험에서 측정된 단자전압을 모의하는 값으로 모델정수를 결정하였다. 조속기/터어빈 모델 정수 유도는 이 시스템 적당한 PSS/E 프로그램 내부 모델이 없는 연유로 화력기 모델인 "IEESGO"를 모델을 이용하여 L사 조속기와 터어빈 성능특성이 나오도록 튜닝하였다. 유도된 모델 정수는 측정된 무부하 개방회로 조속기 스텝시험과 부하차단시 주파수 편차특성을 모의하여 검증하였다.

이와 같이 본 논문은 유도된 L사 2호기 발전기 플랜트 모델 정수 결정은 측정된 데이터를 이용하여 유도하였으며, 측정된 값과 비교하여 그 모델 정수 값을 검증하였다. 따라서, 본 논문에서는 유도된 결정된 모델 정수 값을 이용하면, 신뢰도 있는 자가 발전시스템의 안정도 해석이 가능하므로 보다 정확한 보호 계전기 셋팅이나 입의 사고 시의 효과적인 부하차단 전략수립이 가능하다.

[참 고 문 헌]

- [1] F.P. de Mello, J.R.Rebeiro, "Derivation of Synchronous Machine Parameters from Tests", IEEE Trans. PAS Vol. PAS-96, July/Aug. 1977, pp.1211-1218
- [2] Dong-Joon Kim, Young-Hwan Moon, Tae-Kyun Kim, Jeoung-Hoon Shin, "Derivation of Synchronous Generator Parameters Using Improved Load Rejection Analysis" ICEE '98, Kyungju, Korea
- [3] F.P. de Mello, L.N.Hannett, "Representation of Saturation in Synchronous Machines", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. PWRs-1, No-4, November 1986, pp.8-18
- [4] Young-Hwan Moon, Dong-Joon Kim, Jin-Boo Choo, Seok-ha Song, "Derivation of Excitation System Parameters from Large Signal Tests", ICEE '98, Kyungju, Korea
- [5] P. Kundur, "Power System Stability and Control", McGraw-Hill, Inc., 1994, New York
- [6] PTI, Digital Simulator PSS/E 24