

EMTDC를 이용한 자가용 계통 해석

김학만, 김동현, 전영환, 김지원, 전진홍  
한국전기연구원

Dynamic Study of Co-generator System Using EMTDC

H.M. Kim, D.H. Kim, Y.H. Chun, J.W. Kim, J.H. Jeon  
KERI

**Abstract** - This paper deals with dynamic study of co-generator system with derived dynamic models of generator, excitation system, and turbine/governor from field tests. Mainly this study concentrates on frequency control of demand users that have co-generator by under-frequency relay. We simulate dynamic study of co-generator system using EMTDC.

1. 서론

우리나라에서도 현재 세계적으로 추진되고 있는 전력 산업에서의 경쟁체제가 도입되고 있어 추후 전력산업 분야에서 많은 변화가 예상된다. 특히, 민간의 전력산업에의 참여가 유도되고 있으며, 대용량의 전력부하를 이용하는 산업체의 경우는 경제성에 따라 자가 발전설비 설치 및 운용의 폭이 확장될 것으로 예상된다.

본 논문에서는 자가용 발전 시스템을 가지고 있는 L사의 발전 플랜트를 대상으로 측정된 발전기 특성시험 데이터를 이용하여 L사 디젤엔진 발전기 및 제어계의 모델 정수 값을 유도하고 이 모델을 이용하여 자가용 발전 시스템의 계통해석을 수행하였다. 수행한 내용은 전력회사 계통의 고장에 의해서 수용가 계통이 전체 계통에서 분리되어 독립 계통으로 된 경우 계통 주파수를 유지할 목적으로 부하의 중요도에 따른 우선 순위에 의해서 저주파수 계전기를 설정하고 이에 대한 운용을 EMTDC를 이용하여 기본적인 검토를 수행하였고 이에 대한 검토 결과를 소개하였다.

2. 수용가 계통의 주파수 제어

2.1 수용가 계통

본 논문에서 검토한 수용가 그림 1과 같이 전력회사와 22.9 kV 선로로 연계되어 있으며, 수용가 부하는 전체 16.56 MW로 역률은 0.9로 가정했다. 그리고 열병합 발전설비는 2대로 전력부분의 정격은 7.375MVA, 6.6kV로 가정하였다. 그리고 각 부하 부분에 차단기와 저주파수 계전기가 설치되어 있다.

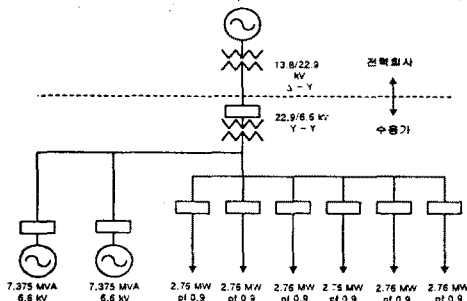


그림 1 열병합 발전설비 수용가 계통 구성

2.2 발전기 제어계 모델

본 논문에서는 자가용 발전 시스템을 가지고 있는 L사의 발전 플랜트를 대상으로 측정된 발전기 특성시험 데이터를 이용하여 L사 디젤엔진 발전기에 대한 모델 정수 값을 신뢰도 있는 값으로 유도하였다(그림 2, 표 1). 측정된 무부하 포화시험, 부하차단 시험 그리고 부하 곡선시험 데이터를 이용하여 유도하였으며, 측정된 데이터와 비교하여 그 값을 검증하였다. 여자기 모델정수는 무부하 개방회로 AVR 스텝시험에서 측정된 단자전압을 모의하여 모델정수를 결정하였고(그림 3, 표 2), 조속기/터어빈 모델 정수 유도는 화력기 모델을 이용하여 L사의 조속기와 터어빈 성능특성이 나오도록 튜닝하였다(그림 4, 표 3) [1].

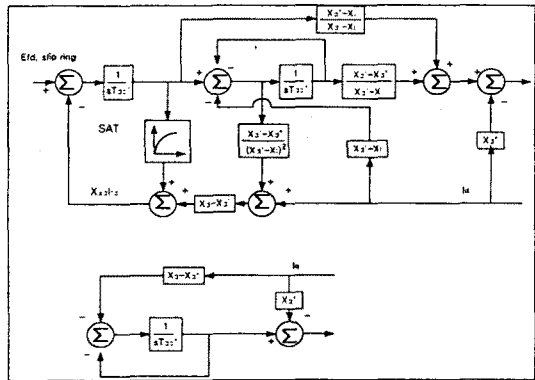


그림 2 돌극형 발전기 모델 "GENSAL"

표 1 결정된 발전기 "GENSAL" 모델 정수 (BASE MVA=7.375 MVA)

정수	정수 값	정수	정수 값
$T_{do}'$	0.741	$X_0$	0.8346
$T_{do}''$	0.0465	$X_d'$	0.410
$T_{do}'''$	0.0470	$X''$	0.252
H	1.71	$X_1$	0.150
D	0.00	S(1.0)	0.3558
$X_d$	1.5735	S(1.2)	0.6865

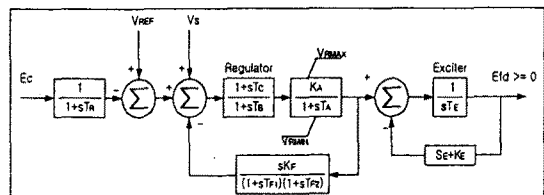


그림 3 IEEE Blushless 여자기/AVR 모델 "IEEEX2"

표 2 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

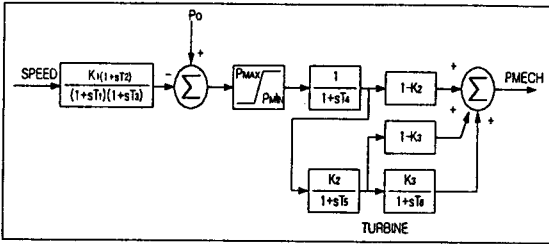


그림 4 IEEE Standard Model "IEESGO" 조속기/터어빈 모델

표 3 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		

그리고 위의 모델을 이용하여 그림 5, 6의 EMTDC 모델을 개발하였다.

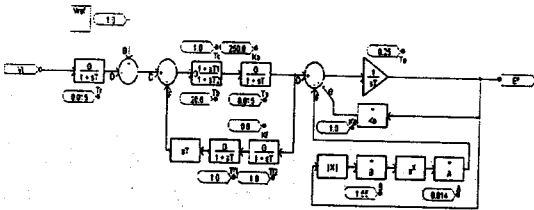


그림 5 EMTDC로 표현된 IEEEX2 여자기 모델

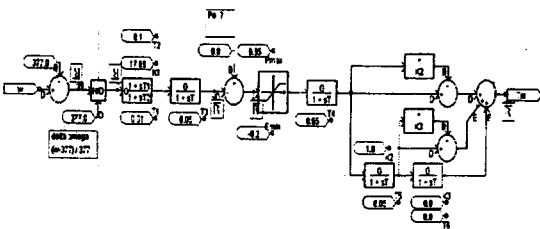


그림 6 EMTDC로 표현된 IEESGO 터어빈/조속기 모델

### 2.3 검토 시나리오 및 주파수 설정

초기에 전력회사로부터 5.92 MW를 수전하며, 자체 발전기로 11.12 MW를 공급하다가 전력회사 계통에 고장을 상정하여 시뮬레이션 시작 8초 후에 수용가와의 22.9 kV 연계 선로를 개방하였으며, 이 때 주파수 저하에 의해서 미리 설정된 주파수 계전기가 작동하여 부하를 차단시키고 주파수를 회복하도록 하였다. 차단 주파수는 각 부하별로 우선 순위를 고려하여 다음 표 4와 같이 설정하였다. 모의에 이용한 EMTDC의 주파수 계전기는 그림 7과 같다.

표 4. 저주파수 계전기 설정치

부하번호	1	2	3	4	5	6
차단주파수[Hz]	59.0	58.8	58.6	58.4	58.2	58.0
지속시간[sec]	0.1	0.1	0.1	1.0	1.0	1.0

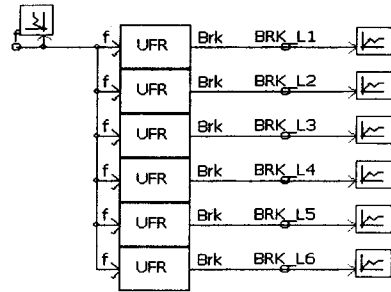


그림 7 EMTDC로 저주파수 계전기 모델

### 2.4 검토 결과

그림 8은 시뮬레이션 기간동안 전력회사로부터 수전하는 유효전력과 열병합 발전설비로 자가 발전하여 공급하는 유효전력을 나타낸 것이다. 그림 8에서와 8초에서 수전이 중단되는 것이 나타나며 이때 순간적으로 자가 발전기의 출력은 상승되지만 주파수 제어에 의해서 다시 발전력이 감소되어 수렴되어지는 현상을 보인다.

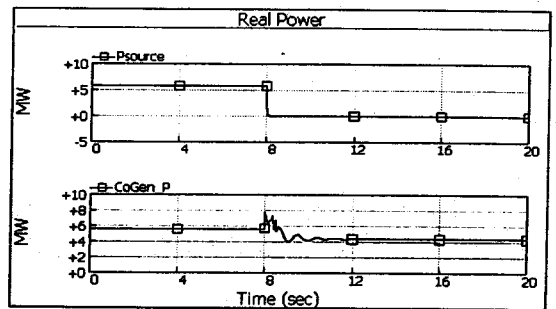


그림 8. 전력회사 및 자가 발전기에서 공급되는 유효전력

그림 9는 시뮬레이션 기간동안 전력회사로부터 수전하는 무효전력과 열병합 발전설비로 자가 발전하여 공급하는 무효전력을 나타낸 것이다. 그림 9에서와 8초에서 수전이 중단되는 것이 나타나며 이때 순간적으로 자가 발전기의 출력은 상승되지만 주파수 제어에 의해서 다시 발전력이 감소되며, 전압 유지를 위해 초기 값 보다 무효전력 생산량이 상승하였다가 부하 차단 후 다시 새로운 평형점으로 도달함을 보인다.

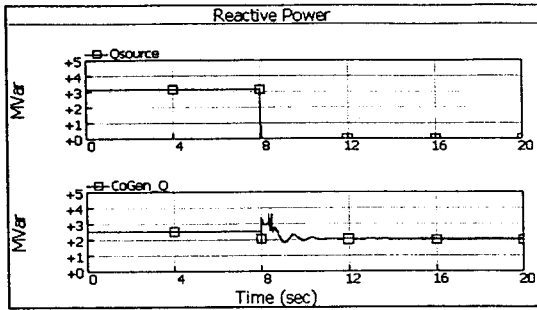


그림 9. 전력회사 및 자가 발전기에서 공급되는 무효전력

그림 10는 초기 60 Hz를 유지하다 수전 중단에 의해서 주파수가 59 Hz 이하로 떨어졌다. 미리 설정된 저주파수 계전기에 의한 부하 차단에 의해서 주파수가 60.6 Hz로 회복됨을 보인다.

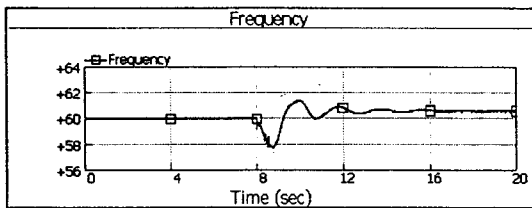


그림 10. 계통 주파수

그림 11은 발전기들의 각속도를 나타낸 것이다. 수전 중단 이후 발전 능력을 초과하는 부하를 담당하므로 주파수가 떨어짐을 보이며, 주파수 계전기에 의한 부하 차단으로 다시 발전기 주파수가 회복됨을 보인다.

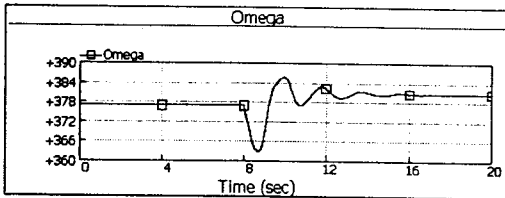


그림 11. 발전기 각속도

그림 12는 계전기에 의한 부하 차단을 보인다. 부하의 우선 순위에 따라 미리 설정된 59 Hz, 58.8 Hz의 부하 2와 6이 계전기에 의해서 차례대로 차단됨을 확인할 수 있다. 그리고 2초에서 무효전력의 수급 부족으로 순간적으로 전압이 강하므로 전압의 함수인 부하가 순간적으로 떨어짐을 확인할 수 있다.

그림 13은 각 부하 모선의 전압을 나타낸 것이다. 2초에서 무효전력의 공급 부족으로 전압 강하가 발생하며, 부하 차단에 의해서 전압이 회복됨을 확인할 수 있다. 그림 13의 전압은 그림 12의 부하의 변화와 일치함을 보이며, 그림 9의 자가 발전설비의 무효전력 생산의 순간 상승과 일치함을 보인다.

### 3. 결 론

전력산업에 민간 발전설비의 역할이 증대되며, 이를 위한 민간 발전설비 계통 해석의 필요성이 증대될 것으로 전망된다. 따라서 이 분야에 대한 많은 관심과 연구 영역의 확대가 예상된다.

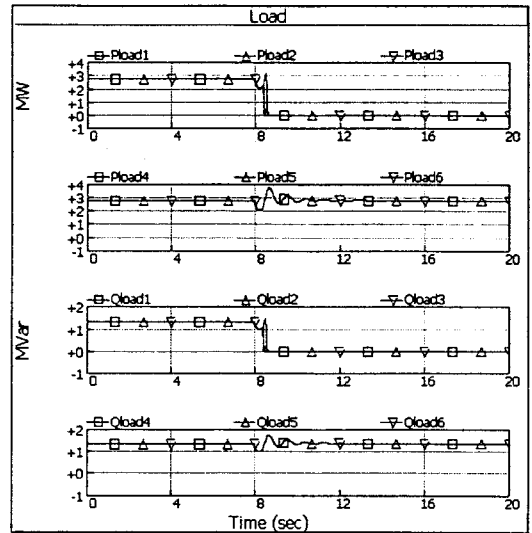


그림 12. 부하

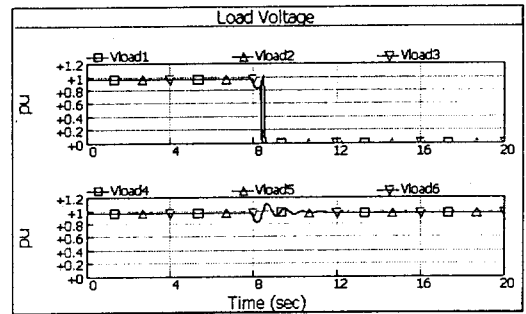


그림 13. 부하측 모선전압

본 논문에서는 실제 자가용 발전 플랜트를 대상으로 디젤엔진 발전기 및 제어계의 모델 정수 값을 유도하고 이 모델을 이용하여 전력회사 계통의 고장에 의해서 수용가 계통이 전체 계통에서 분리되어 독립 계통으로 된 경우 계통 주파수를 유지할 목적으로 부하의 중요도에 따른 우선 순위에 의해서 저주파수 계전기를 설정하고 이에 대한 운용을 EMTDC를 이용하여 기본적인 검토를 수행하였고 이에 대한 검토 결과를 소개하였다.

추후 더욱 현장에 가까운 계통 해석을 수행할 계획이 다.

### (참 고 문 헌)

- [1] 김동준, 김학만, 전영환 외 3인, "자가용 발전기 모델 정수 결정", 2001년도 대한전기학회 전력기술부문회 춘계학술대회 논문집, pp.236-240.
- [2] 김학만, 김동현, 전영환 외 3인, "저주파수 계전기에 의한 수용가 발전설비 계통 주파수 제어", 2001년도 대한전기학회 전력기술부문회 춘계학술대회 논문집, pp.233-235.
- [3] 자가용 발전기 병렬연계선로 보호방식에 관한 연구, 한국전력공사 기술연구소, 1985. 4.
- [4] 계통 연계 운전형 신에너지 전원의 표준화 및 보급체계 정비, 한국전력공사연구원, 한국전기연구소, 2000. 12.