

## 소형 열병합 발전설비가 연계된 배전계통의 순시전압변동

\*최준호<sup>\*</sup>, 김재철<sup>\*</sup>, 정성교<sup>\*</sup>, 김대원<sup>\*</sup>, 한성호<sup>UV</sup>

<sup>\*</sup>: 송실대학교 전기공학과, <sup>UV</sup>: 한국철도기술연구원

### Momentary Voltage Dips in the Power Distribution System Interconnected with Cogeneration Facilities (COGN)

\*Joon-Ho Choi<sup>\*</sup>, Jae-Chul Kim<sup>\*</sup>, Sung-Kyo Jung<sup>\*</sup>, Dae-won Kim<sup>\*</sup>, Sung-Ho Han<sup>UV</sup>

<sup>\*</sup>: Dept. of Electrical Engineering, Soongsil UNIV., <sup>UV</sup>: KRRI (Korea Railroad Research Institute)

**Abstract** - The cogeneration facilities (COGN) into the power distribution system can cause operational problems - reenergization of distribution feeders under repair by utility personnel, voltage variation and regulation because of output power of COGN, and lost of coordination at emergency state - on an electrical utility system. This paper deals with momentary voltage dips as the parallel interconnection operation of COGN in the power distribution system. PSCAD/EMTDC simulation tool is used to show the behavior of momentary voltage dips. In addition, restraint solution for momentary voltage variation is presented.

델은 SQC100 모델을 사용하였다.

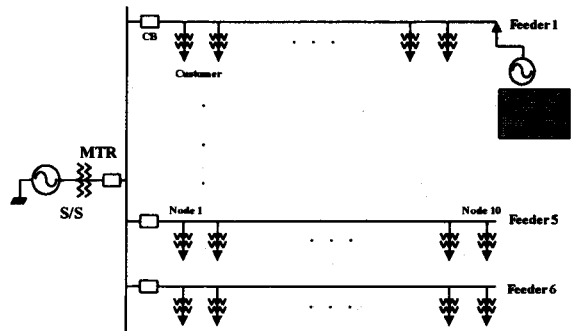


그림 1 모의 배전 계통 모델

## 1. 서 론

최근 첨단산업의 발달로 컴퓨터 및 OA기기, 산업용 정밀기기등의 많은 보급으로 인해 수용가(customer)는 신뢰성(reliability) 및 품질(quality)면에서 보다 나은 전력의 공급을 전력회사측(utility)에 요구한다. 반면에 수용가는 전력의 신뢰성 및 경제성을 이유로 소형 열병합 발전설비(COGN)의 도입을 고려하는 시점에 있다. 하지만 이러한 소형열병합발전설비의 배전계통 연계는 계통 운영상의 변화 및 문제점을 내재하고 있다. 즉 전력조류의 양방향화로 인한 보호협조, 전압변동 및 조정, 단락용량 증가 등의 문제점을 가진다. 이러한 연계문제 중 열병합발전설비의 병·해열 운전에 따른 연계 계통의 순시전압변동은 첨단 정보기기 및 산업 정밀 기기 등에 오동작 및 기기 정지 등의 악영향을 미칠 우려가 있다. 소형 열병합발전기의 발전기가 동기발전기(Synchronous Generator)의 경우에는, 계통 병·해열 운전 시 동기를 맞추어 연계할 경우 순시전압변동은 아주 미소하다. 하지만 경제성 이유로 유도발전기(Induction Generator)를 사용할 경우, 배전계통 병렬운전 시 정격전류의 5~6배의 무효 투입전류가 흐르므로 순시전압 변동분 및 영향은 정확히 분석하여야만 한다.

본 논문에서는 소형 열병합발전설비의 발전기가 유도발전기인 경우의 배전계통 병·해열시의 순시전압변동을 전자기 과도해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 모의 시뮬레이션을 통해 분석해보았다. 또한 열병합발전설비의 배전계통 병·해열시에 일어날 수 있는 순시전압변동 문제점에 대한 억제 대책을 제시하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 모의 배전 계통 모델

소형 열병합발전 설비의 배전계통 연계시 순시전압변동을 시뮬레이션하기 위한 모의 배전계통 모델은 그림1과 같으며 이의 파라미터값은 표1과 같다. 표 1에서 시스템 베이스(System Base)는 100[MVA]기준이며, 유도발전기의 구속 리액턴스는 자기 베이스(Self Base) 기준이다. 또한 PSCAD /EMTDC모델에서 유도발전기의 모

표 1 배전계통 모델 파라미터

전 원 측	임피던스( $Z_s$ )	$j 1.5$ [%]
배전용변전소 주변압기	정 격 용 량	45/60 [MVA]
	임피던스( $Z_t$ )	$1.2 + j 26$ [%]
배전선로 (ACSR 160 <sup>o</sup> )	임피던스( $Z_l$ )	$3.47 + j 7.46$ [%/Km]
	공 격 장	10 [Km]
열병합발전설비 (유도발전기)	정 격 전 압	3.3 [kV]
	구속리액턴스 ( $X'_c$ )	30 [%]
피 더	수	6 개
	노 드	10 개
	중 부 하 시	10 [MVA]
	경 부 하 시	2.5 [MVA]

### 2.2 순시전압변동의 계산

소형 열병합발전설비의 발전장치가 유도발전기를 사용할 경우, 병렬 순시시의 무효투입전류에 의한 소형열병합발전설비 발전기 설치 점의 전압강하율  $\epsilon$ 는 다음 (1)식과 같다.[1]

$$\epsilon = \frac{\Delta V}{V_r} = \sqrt{\frac{R_0^2 + X_0^2}{R_0^2 + (X_0 + X_c)^2}} \times 100(\%) \quad (1)$$

여기에서  $V_r$ :소형 열병합발전설비 설치 수용가의 연계점의 연계점 전압,  $\Delta V$ :소형 열병합발전설비 설치 수용가의 병렬시의 순시전압변동분,  $R_0 + jX_0$ : 소형열병합발전설치점에서 본 계통 측 임피던스 ( $=Z_s + Z_t + Z_l$ ),  $X_c$ [%]:소형 열병합발전설비인 유도발전기의 구속리액턴스를 시스템 베이스로 환산한 수치이다.

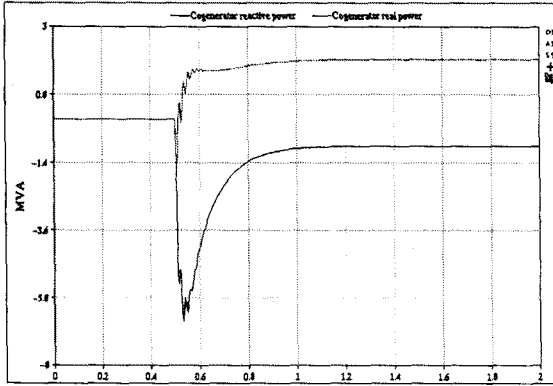
따라서, 열병합 발전설비 설치 점에서의 순시전압변동  $\Delta V = V_r \times \epsilon$ 이 되며, 순시전압강하에 의한 수전단 수전 전

압  $V_r = V_s - \Delta V$  가 된다.

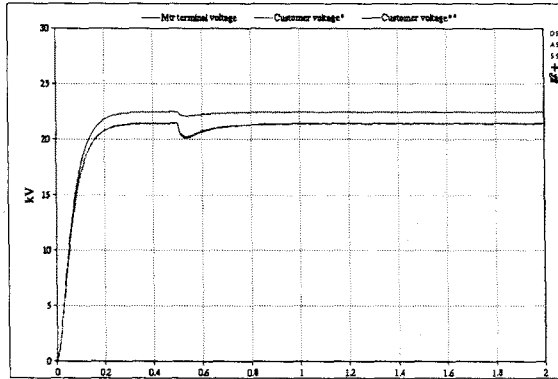
### 2.3 PSCAD/EMTDC 시뮬레이션

본 논문에서는 소형 열병합발전설비의 배전계통 병렬 운전시의 순시전압 변동의 모습을 보기 위해 그림1의 모의 배전계통을 PSCAD/EMTDC 환경하에서 구현 시뮬레이션 하였다. 그림4는 그림1, 표1의 모의 배전계통 및 파라미터를 PSCAD/EMTDC 환경하에서 구현한 모델이다.

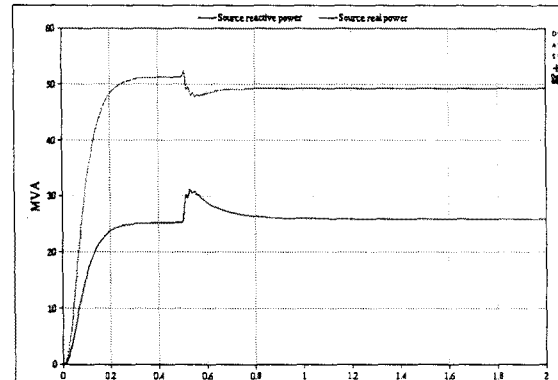
PSCAD/EMTDC 시뮬레이션의 조건은 중부하시 소형 열병합 발전설비의 연계지점은 피더 말단의 10[Km] 지점이고, 병렬운전 연계시점은 0.5초이다. 유도발전기 모델은 SQC100 모델[2] 을 사용하였다. SQC100 모델의 연계운전은 정격 속도로 운전모드로 시작하여 연계시점인 0.5초에 정격 토크 운전모드로 전환한다.



(a) 유도발전기의 유·무효 전력

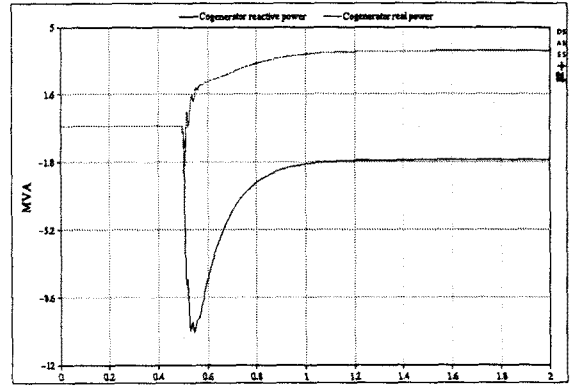


(b) 수용가 순시전압변동 Profile

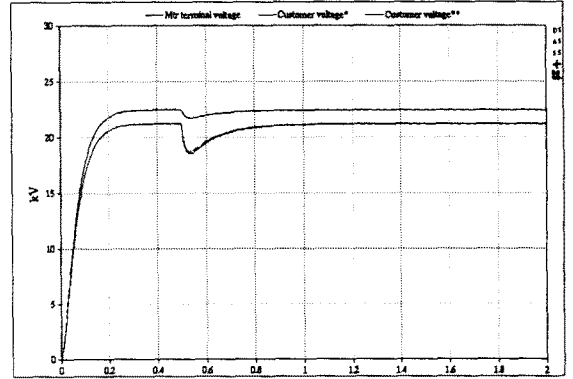


(c) 전원측의 유·무효 전력

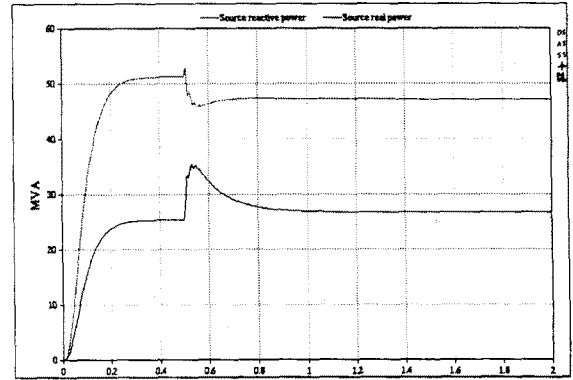
그림 2 유도발전기 출력 2MW의 경우



(a) 유도발전기의 유·무효 전력



(b) 수용가 순시전압변동 Profile



(c) 전원측의 유·무효 전력

그림 3 유도발전기 출력 4MW의 경우

그림 2, 3의 (a)그림에서 보면, 소형 열병합발전설비의 계통 병렬 운전시 순시적으로 정격의 6배이상의 무효 투입전류가 흐를 수 있다. 따라서 소형 열병합발전설비가 연계된 노드의 전압은 연계전의 수전단 전압에서 순시적으로 7%~14%의 전압변동을 나타내고 있으며, 연계된 피더의 이웃 노드 및 이웃 피더의 노드의 전압도 순시적으로 변화를 보임을 알 수 있었다. 또한 연계된 열병합발전설비의 발전기의 용량이 크면 클수록 전압 변동분이 심함을 알 수 있다.

### 2.3 유도발전기 용량 및 연계위치에 따른 전압변동

본 절에서는 연계된 소형 열병합발전설비의 발전기 용량 및 연계위치와 순시전압변동분의 사이의 관계를 분석하고자 하였고, 이의 관계는 표2에 나타내었다. 표2의 결과에서 보면 연계된 소형 열병합발전설비의 발전기의 용량이 크면 클수록 순시전압변동이 심함을 알 수 있었고,

또한 연계선로의 길이가 길수록 (임피던스가 클수록) 순시전압변동이 심함을 알 수 있다.

표 2. 연계 용량 및 위치에 따른 전압변동률

연계위치	COGN 연계용량			
	1[MW]	2[MW]	3[MW]	4[MW]
1 [Km]	1.28 %	2.54 %	3.77 %	4.96 %
2 [Km]	1.57 %	3.10 %	4.58 %	6.02 %
3 [Km]	1.86 %	3.65 %	5.39 %	7.06 %
4 [Km]	2.15 %	4.21 %	6.19 %	8.09 %
5 [Km]	2.43 %	4.76 %	6.98 %	9.11 %
6 [Km]	2.72 %	5.31 %	7.76 %	10.11 %
7 [Km]	3.01 %	5.85 %	8.54 %	11.08 %
8 [Km]	3.29 %	6.39 %	9.30 %	12.04 %
9 [Km]	3.57 %	6.92 %	10.05 %	12.98 %
10 [Km]	3.86 %	7.45 %	10.79 %	13.91 %

### 2.4 순시 전압강하 억제 대책

배전계통에서 순시 전압변동의 허용 유지 범위는 공칭 전압 (Nominal Voltage)의  $\pm 10$  [%]이다 [3]. 따라서, 소형 열병합발전설비의 배전계통 연계시 한류리액터등을 추가하여 퍼센트 임피던스 (%Z)를 증가시킴으로써 병렬운전 순시시의 무효투입전류를 줄일 수 있을 뿐만 아니라 순시 전압변동분을 줄일 수 있다. 본 절에서는 순시전압강하 억제 대책중 한류리액터를 설치하는 방안을 설명하고자 한다.

#### 2.4.1 한류 리액터에 의한 순시 전압변동 제어

발전기 설치 점에서부터 계통 측의 전 임피던스를  $R_0 + jX_0$  [%], 유도발전기의 기속 리액터를  $X'_L$  [%], 한류리액터의 임피던스  $X_L$  [%]이라 하면, 병렬운전 순시시의 무효투입전류에 의한 소형 열병합발전설비 발전기 설치점의 전압강하율  $\epsilon'$ 는 다음 (2)식으로 표현된다.

$$\epsilon' = \frac{\Delta V}{V_r} = \sqrt{\frac{R_0^2 + X_0^2}{R_0^2 + (X_0 + X_c + X_L)^2}} \times 100(\%) \quad (2)$$

따라서 한류리액터의 용량은 정상상태의 수전단전압 ( $V_r$ )과 한류리액터 설치후의 전압변동에 의해 다음 (3)식에 의해 구할 수 있다.

$$V_r - \epsilon' > V_{\min} \quad (3)$$

여기에서  $V_r$ : 소형 열병합 발전설비 설치 수용가 연계점의 연계점 전압,  $\epsilon'$ 는 병렬운전 순시시의 무효투입전류에 의한 소형 열병합발전설비 발전기 설치점의 전압강하율,  $V_{\min}$ 은 순시전압강하의 하한치 (공칭 전압의 90%)이다.

위의 (2)식을 이용하여 앞 절에서 계산한 순시전압변동분을 5%이하로 억제하기 위한 한류리액터의 용량은 표3에 나타내었다. 표3에서 한류리액터 용량은 기준베이스 100 [MVA], 기준전압 22.9[kV]일 때의 %임피던스를 나타낸다.

표 3 한류리액터 용량 계산의 예

연계위치	COGN 연계용량			
	1[MW]	2[MW]	3[MW]	4[MW]
1 [Km]	0 %	0 %	0 %	0 %
2 [Km]	0 %	0 %	0 %	146 %
3 [Km]	0 %	0 %	743 %	299 %
4 [Km]	0 %	0 %	228 %	453 %
5 [Km]	0 %	0 %	383 %	608 %
6 [Km]	0 %	88 %	538 %	736 %
7 [Km]	0 %	244 %	694 %	919 %
8 [Km]	0 %	400 %	850 %	1075 %
9 [Km]	0 %	556 %	1000 %	1231 %
10 [Km]	0 %	712 %	1162 %	1387 %

### 3. 결 론

본 논문에서는 소형열병합 발전설비의 계통 연계 문제 중 순시전압변동에 관하여 수식 및 전자기 과도해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 사용하여 시뮬레이션 하였다. PSCAD/EMTDC 시뮬레이션 결과 소형열병합 발전설비의 발전기가 유도 발전기인 경우, 계통 병렬운전시 무효투입전류에 의한 순시전압변동이 발생함을 알 수 있다. 그리고 표2의 결과에서 보면 연계된 소형 열병합발전설비의 발전기의 용량이 크면 클수록 순시전압변동이 심함을 알 수 있었고, 또한 연계선로의 길이가 길수록 (임피던스가 클수록) 순시전압변동이 심함을 알 수 있다. 또한 본 논문에서는 이러한 순시전압변동의 억제책으로 한류리액터의 설치 용량 계산의 예를 제시 하였다.

본 논문의 결과는 향후 소형열병합 발전설비 및 분산형전원 ( DSGs : Dispersed Storage and Generation)의 배전계통 연계시 순시 전압변동에 대한 자료 및 계통 연계 가이드라인등의 기초 연구로서 충분한 가치가 있다고 판단 된다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 日本電氣技術基準調査委員會, 分散形電源系統連系技術指針 JEAG 9701, 1993
- [2] PSCAD/EMTDC Power System Simulation Software Manual, Manitoba HVDC Research Centre, 1994
- [3] ANSI/IEEE Std 141-1986, IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants

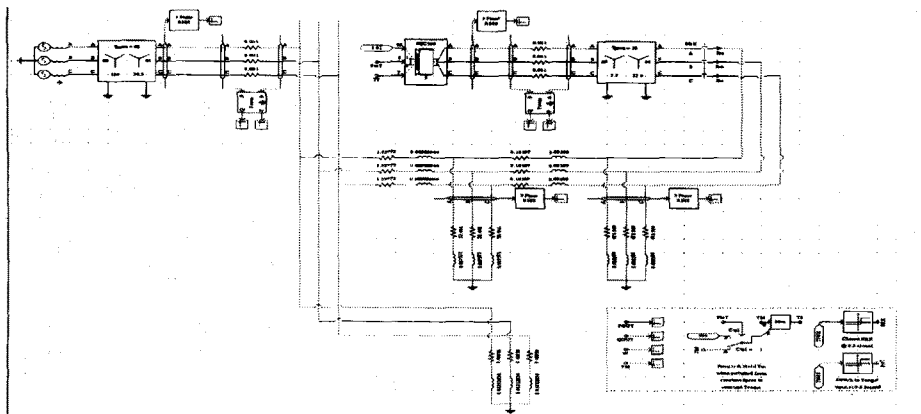


그림 4. PSCAD/EMTDC 환경에서의 모델 계통