

열병합발전설비가 연계된 배전계통 순시전압변동 및 사고해석에 관한 연구

°정성교* 최준호* 김대원* 김재철* 손학식** 김윤우***
 *숭실대학교 전기공학과 **에너지관리공단 ***한국전력공사

A Study on Momentary Voltage Variations and Fault Analysis in the Power Distribution System with Cogeneration Facilities (COGN).

°Seong-Kyo Jung* Joon-Ho Choi* Dae-Won Kim* Jae-Chul Kim* Hag-Sig Son** Yun-Woo Kim***
 *Dept. of Electrical Engineering Soongsil Univ **KEMCO ***KEPCO.

Abstract - Recently, there has been growing interest in utilizing cogeneration(COGN) system which has high energy efficiency due to the lacking of energy resource, but insertion of cogeneration system into existing power distribution system can cause several problems such as voltage variations, reenergizing of feeder isolated by fault, increasing fault current because of reverse power of COGN. Also these problems increase the complexity of control, protection, and maintenance of power distribution systems. Hence, some problems according to COGN interconnection operation to power distribution system must be taken into account so that operation and security of power distribution system is not disturbed.

This paper deals with momentary voltage variations and fault analysis caused by interconnection operation of COGN.

1. 서 론

최근 에너지 수요의 급증과 에너지 자원의 고갈 문제와 더불어 에너지의 효율적 이용측면에서 열병합발전설비에 대한 관심이 고조되고 있다. 하지만 이러한 열병합발전설비는 배전계통 병·해열시 전압관리 및 고조파, 보호협조, 단락용량의 증가 등과 같은 문제점을 일으킬 수 있으며, 이러한 문제점은 첨단산업의 발달과 함께 많이 보급된 컴퓨터 및 산업용 정밀기기 등과 같이 신뢰성(reliability) 및 품질(quality) 면에서 양질의 전력을 필요로 하는 수용가측(customer) 설비에 악영향을 미칠 우려가 있을 뿐만 아니라 배전계통의 운전, 보호 및 제어에 있어서 복잡성을 증가시킨다.

분산형 전원의 한 형태인 열병합발전설비를 배전계통과 병렬운전하기 위해서는 반드시 이러한 문제점에 대한 연구가 선행되어야 하며 이러한 분야에 관한 선행연구로는 연계된 분산형 전원이 배전시스템의 상시전압조정에 미치는 영향 및 분산형 전원이 연계된 배전계통에서의 새로운 전압조정 방안에 관한 연구[1,2], 분산형 전원이 도입된 배전계통에서의 보호방식에 관한 연구[3,4] 등이 수행되었다.

본 논문에서는 열병합발전설비의 배전계통 병·해열시 발생할 수 있는 여러 가지 문제점 중에서 회전기 형태(유도발전기, 동기발전기)의 열병합발전설비가 배전계통과의 병·해열시에 일으킬 수 있는 순시전압변동을 발전기 종류 및 연계위치에 따라 배전계통 등가모델을 이용한 모의시뮬레이션을 통하여 분석해 보았다.

또한 배전계통에 연계된 열병합발전설비가 발전장치의 종류에 따라 사고시 사고전류에 미치는 영향을 전자기 과도해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용한 시뮬레이션을 통하여 연구하였다.

2. 순시전압변동 시뮬레이션

2.1 모의 배전계통 모델

열병합발전설비의 배전계통 병·해열시 순시전압변동을 시뮬레이션하기 위한 모의 배전계통 모델은 그림1과 같으며 각 파라미터 값은 [2]에서 사용된 값을 적용하였다.

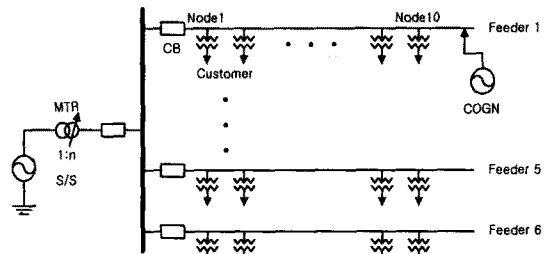


그림 1. 모의 배전계통 모델

열병합발전설비의 배전계통 병·해열시 순시전압변동을 분석하기 위해 전자기 과도해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 사용하여 모의 시뮬레이션을 수행하였으며 시뮬레이션 조건은 표1과 같다.

표 1. 순시전압변동 시뮬레이션 조건

유도발전기 모델	SQC100 모델[5]
동기발전기 모델	MAC100 모델[5]
연계 위치	피더달단 10[km] 지점
병렬 시간	0.5[sec]
해열 시간	3[sec]

2.2 유도발전기

유도발전기 병·해열시 순시전압변동을 분석하기 위해 표1의 조건하에서 유도발전기 용량을 4[MW]로 가정하여 시뮬레이션을 수행하였으며 그 결과는 그림2와 같다.

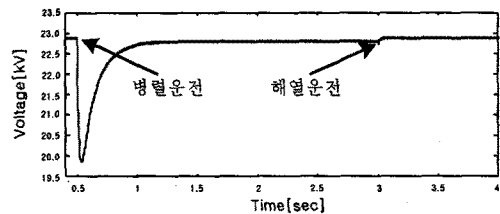


그림 2. 유도발전기 병·해열시 순시전압변동

유도발전기를 배전계통에 병렬시에는 구동기에 의해 회전속도를 동기속도 근방까지 가속 후 연계하며 그 때 정격전류의 5~6배의 투입전류에 의해 유도발전기 연계점에서 순시전압강하가 발생하게 된다. 그림2에서 보듯이 4[MW] 유도발전기를 배전계통에 병렬시 약 13.5[%]의 전

압강하가 발생함을 알 수 있으며 해열시에는 1[%] 미만의 매우 작은 전압상승이 발생함을 알 수 있다.

2.2.1 유도발전기 병렬시 순시전압강하의 계산
 열병합발전설비인 유도발전기를 배전계통 병렬시 병렬점의 순시전압강하율(ϵ)은 다음 (1)식과 같다. (6)

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

여기서 ΔV : 열병합발전설비 병렬시 병렬점의 순시전압변동분, V_r : 열병합발전설비 병렬점의 병렬점 전압, $R_0 + jX_0$: 열병합발전설비 병렬점에서 본 계통측 등가 임피던스(= $Z_s + Z_l + Z_l$), X_C ([%]): 열병합발전설비인 유도발전기의 구속리액턴스를 시스템 베이스로 환산한 값이다.

따라서, 열병합발전설비 설치점에서의 순시전압변동분(ΔV) 및 순시전압강하에 의한 수전단 수전전압(V_r')은 각각 다음 (2)식, (3)식과 같다. (6)

$$\Delta V = V_r \times \epsilon \quad (2)$$

$$V_r' = V_r - \Delta V \quad (3)$$

본 절에서는 열병합발전설비의 용량 및 연계위치에 따른 순시전압강하의 관계를 살펴보기 위해 (1)식을 이용하여 순시전압강하의 크기를 계산하였으며 그 결과는 그림3과 같다. 이때 유도발전기의 구속리액턴스는 self base에서 $X_C = j20$ (%)이며 운전역률은 0.8로 가정하였다. 그림3의 결과를 살펴보면 열병합발전설비의 용량이 클수록, 연계선로의 길이가 길수록(임피던스가 클수록) 순시전압강하가 심함을 알 수 있다.

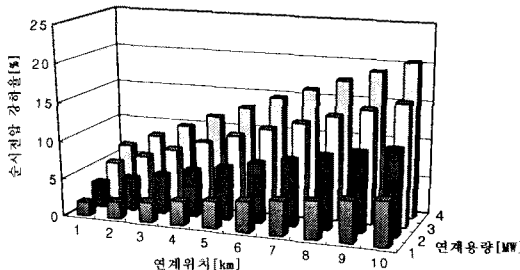


그림 3. 유도발전기 용량 및 연계거리에 따른 순시전압강하율

또한 그림3에서 볼 수 있듯이 발전기 용량 및 연계거리에 따른 순시전압강하율이 현재 배전계통에서의 순시전압변동의 허용유지 범위인 ± 10 (%)를 벗어날 수 있으며 이의 억제책에 대한 연구가 필요함을 알 수 있다. (7)

2.4 동기발전기

동기발전기 병·해열시 순시전압변동을 분석하기 위해 표 1.의 조건하에서 동기발전기 용량을 4[MW]로 가정하여 시뮬레이션을 수행하였으며 그 결과는 그림4와 같다.

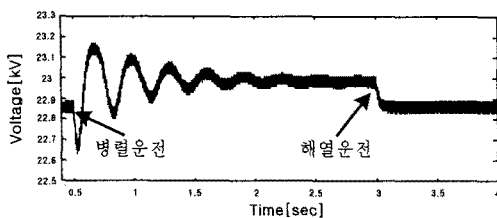


그림 4. 동기발전기 병·해열시 순시전압변동

동기발전기의 배전계통 병렬시에는 동기발전기와 배전계통과의 사이에 동기투입조건들이(주파수차, 전압차, 위상차) 만족될 때 병렬운전이 이루어져야 한다. 만약 동기투입이 이루어지지 않는다면 소형 열병합설비 자체뿐 아니라 설비용량에 따라 전압변동, 주파수변동 등의 악영향을 미칠 수 있다. 따라서 동기발전기의 배전계통 병렬시에는 동기투입장치에 의해 반드시 동기투입이 이루어져야 한다. 동기발전기의 경우 배전계통 병렬시 동기투입조건에 맞게 병렬운전이 이루어졌을 경우의 순시전압변동은 그림3에서 알 수 있듯이 ± 1 (%) 이내이며 해열시의 순시전압강하는 유도발전기에서와 같이 1[%] 미만으로 매우 작음을 알 수 있다. 그림5는 동기투입장치설치의 일 예를 나타내며 표2는 병렬운전시 동기투입조건을 나타낸다. (6)

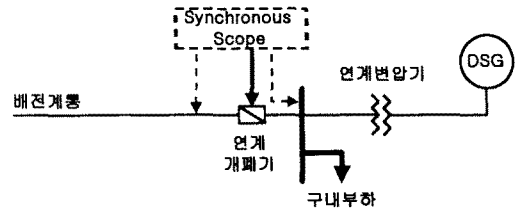


그림 5. 동기검출장치의 설치 예

표 2. 동기투입조건

동기투입 조건	전압차	5[%] 이내
	주파수차	0.2[Hz] 이내
	위상차	$\pm 5^\circ$ 이내

3. 사고해석 시뮬레이션

본 절에서는 열병합발전설비가 연계된 배전계통에서 사고시 열병합발전설비가 사고전류에 미치는 영향을 분석하기 위해 그림1의 모의 배전계통과 PSCAD/EMTDC 프로그램을 이용하여 모의 시뮬레이션을 하였으며 모의 배전계통의 각 파라메타는 [2]에서의 값들을 적용하였다. 사고해석을 위한 시뮬레이션 조건은 표3과 같으며 열병합발전설비의 용량은 4[MW], 운전역률은 0.8로 가정하였으며 또한 사고점의 사고저항 값은 없는 것으로 가정하였다.

표 3. 사고해석 시뮬레이션 조건

사고 종류	3상 단락사고
사고발생위치	피더 9(km) 지점
사고발생시간	0.3(sec)
사고지속시간	0.5(sec)

열병합발전설비가 연계된 배전계통의 사고시 사고전류의 경로를 고려한 등가회로는 그림6과 같으며 발전기 종류에 따른 사고전류의 영향을 살펴보기 위해 각각 유도발전기와 동기발전기의 경우로 나누어 시뮬레이션을 수행하였다.

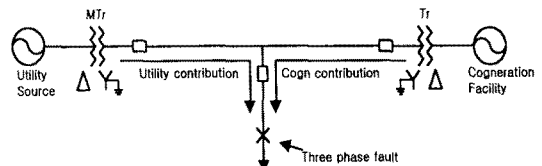


그림 6. 사고전류의 경로를 고려한 등가회로

3.1 유도발전기

유도발전기가 연계된 배전계통의 사고시 사고해석을 위한 시뮬레이션 결과는 그림7과 같다. 그림7에서 열병합발전설비인 유도발전기에 의한 사고전류의 최대치는 초기과도시 900[A] 정도이며 사고가 발생한 시점으로부터 0.3

초 이후에는 거의 0으로 줄어드는 것을 볼 수 있다. 또한 이러한 유도발전기에 의한 사고전류가 Utility측 전원에 의한 사고전류에 더해짐으로써 전체 사고전류를 증가시킬 수 있다.

유도발전기의 경우는 Utility측 전원을 발전기의 여자전원으로 사용하므로 사고시 유도발전기에 의한 사고전류는 배전계통 전압에 영향을 받게된다. 따라서 3상 단락사고시 유도발전기에 의한 사고전류는 단자전압의 감소로 인한 발전기의 여자(excitation)의 감소와 함께 급속히 줄어드는 것을 알 수 있다.

3.2 동기발전기

동기발전기가 연계된 배전계통의 사고시 사고해석을 위한 시뮬레이션 결과는 그림8과 같다. 그림8에서도 열병합발전설비인 동기발전기에 의한 사고전류의 최대치는 초기과도시 920[A] 정도이며 정상상태시 약 500[A]로 줄어드는 것을 볼 수 있다. 또한 유도발전기에서와 같이 동기발전기에 의한 사고전류는 전원에 의한 사고전류에 더해짐으로써 전체 사고전류를 증가시킬 수 있다.

그러나 동기발전기의 경우는 Utility측 전원과 독립된 발전기 자체의 여자전원을 갖고있으므로 사고시 동기발전기에 의한 사고전류는 유도발전기와 달리 배전계통 전압에 영향을 받지 않는다. 따라서 열병합발전설비인 동기발전기에 의한 사고전류는 동기발전기가 배전계통으로부터 분리되지 않는 한 지속적으로 사고전류를 증가시킬 수 있다.

그림9는 동기발전기의 용량에 따른 전체사고전류의 크기(최대값)를 나타내었으며 동기발전기의 용량이 클수록 전체사고전류의 증가에 많이 기여함을 알 수 있다.

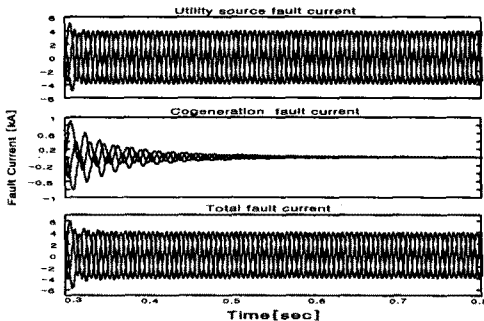


그림 7. 유도발전기에 의한 사고전류의 증가

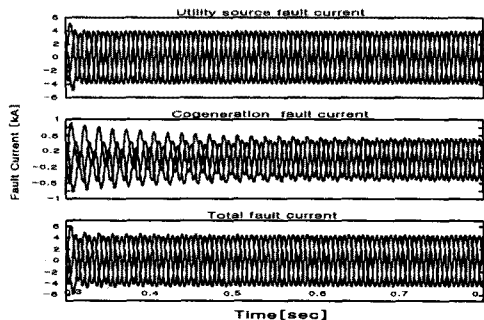


그림 8. 동기발전기에 의한 사고전류의 증가

3. 결 론

본 논문에서는 전기에너지와 열에너지를 함께 이용함으로써 에너지 효율면에서 이점을 가질 수 있는 열병합발전설비의 배전계통 병렬운전을 위해 반드시 선행 연구되어야 할 문제점인 열병합발전설비가 연계된 배전계통에서의 순시전압변동 및 사고해석에 관하여 발전기 종류에 따라 분석해 보았다.

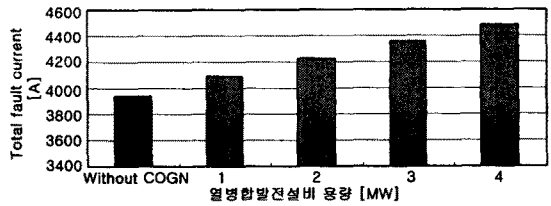


그림 9. 동기발전기 연계용량에 따른 전체사고전류

유도발전기 병렬시 순시전압강하는 그림3에서 보듯이 발전기 용량이 클수록 병렬거리가 길수록(임피던스가 클수록) 심함을 알 수 있었으며 이러한 순시전압강하가 현재 배전계통에서의 순시전압변동의 허용유지 범위인 $\pm 10\%$ 를 벗어날 수 있으며 이의 억제책에 대한 연구가 필요함을 알 수 있다.

동기발전기의 경우 배전계통 병렬시 동기투입이 이루어지지 않는다면 동기발전기 자체뿐 아니라 발전기 용량에 따라 배전계통에 악영향을 미칠 우려가 있으므로 반드시 동기투입이 이루어져야 한다. 동기발전기의 경우 표3의 조건을 만족하는 병렬운전이 이루어졌을 경우에는 순시전압변동은 극히 미소함을 알 수 있었다.

또한 열병합발전설비가 연계된 배전계통 사고시 열병합발전설비의 종류에 따른 사고전류의 영향을 시뮬레이션을 통해 살펴본 결과 3상단락 사고시 유도발전기와 동기발전기 모두 사고전류의 증가에 기여하며 특히 동기발전기의 경우 자체의 여자전원 때문에 배전계통으로부터 분리되지 않는 한 지속적으로 사고전류를 증가시킬 수 있었다. 따라서 이러한 열병합발전설비에 의한 사고전류의 증가가 기존의 배전계통의 보호협조(차단기 용량, 퓨즈 용량)에 영향을 줄 수 있음을 확인하였으며 향후 발전기의 종류, 용량, 병렬위치에 따른 사고전류의 영향과 기존의 보호협조와의 관계에 대한 정확한 분석이 필요할 것이다.

본 논문에서 다룬 열병합발전설비가 연계된 배전계통의 순시전압변동 및 사고해석에 관한 연구결과는 열병합발전설비의 배전계통 도입시 유익한 자료로 사용될 수 있을 것으로 사려된다.

본 연구는 에너지자원 기술개발지원센터의 에너지 학술진흥사업의 연구비에 의하여 연구되었음.

[참 고 문 헌]

- H. Kirkham, R. Das, "Effect of voltage control in utility interactive dispersed storage and generation systems," *IEEE Trans. PAS*, vol. PAS-103, No.8, pp.2277-2282, August 1984.
- 최준호, 김재철 "분산형 전원이 연계된 배전계통의 주변압기의 새로운 전압조정에 관한 연구," *대한전기학회 논문지*, 제47권 12호, pp.2094-2100, 1998년 12월.
- R. C. Dugan, D. T. Rizy, "Electric distribution protection problems associated with the interconnection of small, dispersed generation Devices," *IEEE Trans. PAS*, vol. PAS-103, No.6, pp.1121-1127, June 1984.
- R. M. Rifaat, "Critical considerations for Utility/Co generation inter-tie protection scheme configuration," *IEEE Trans. Ind. Applicat.*, vol. IA-31, No.5, pp.973-977, september/october 1995.
- Manitoba HVDC Research Centre, *PSCAD/EMT DC power system simulation software manual*, 1994.
- 日本電氣技術標準調査委員會, *分散型電源系統連系技術指針*, JEAG 9701, 1993.
- IEEE recommended practice for electric power distribution for industrial plants*, ANSI/IEEE Std 141-1986.