

# CTTS의 비동기 절체 시 조속기 제어를 통한 과도 개선에 관한 연구

(Study on Transient Improvement through Governor Control  
under Asynchronous Transition of CTTS)

강병욱\* · 채희석 · 한운기 · 임현성 · 권승옥 · 김재철\*\*

(Byoung-Wook Kang · Hui-Seok Chai · Woon-Ki Han · Hyun-Sung Lim · Seung-Ok Kwon · Jae-Chul Kim)

## Abstract

This paper derives the problems that occur when asynchronous transfer in case of phase, frequency, voltage between the emergency generator and the grid and proposed the countermeasure to solve this problem when the transfer switch replace ATS(Automatic Transfer Switch) with CTTS(Closed Transition Transfer Switch) for the non-interrupting switching. In order to simulate above cases, modelling was used the transient analysis program PSCAD/EMTDC. By using this, the customer installed emergency generator and the grid was implemented. We compared three cases of asynchronous transition based on the basic case and proposed improvement by controlling the governor of emergency generator.

Key Words : Emergency generator, Asynchronous transition, Governor control, Automatic Voltage Regulator

## 1. 서 론

세계적인 탈핵화로 인해 원전 건설은 한계에 도달하고 국내 전력 수급 상황은 하계 최대 수요 피크 뿐만 아니라 전기 난방 비율 증가로 인해 동계피크까지 대비해야 하는 상황이다. 증가하는 전력 소모에 대응하기 위하여 준공 예정이었던 5GW급 발전설비 및 기타

송변전 설비들은 지자체 및 주민 등의 민원, 환경 문제 등으로 인하여 건설이 지연 또는 취소되고 있다[1]. 또한 70년대 건설된 노후 발전기의 경우 내구연한이 지난 채 운전 중에 있으며, 이에 대한 정비나 폐기가 쉽지 않아 설비 운영에 있어 큰 위험을 가지고 운전하고 있다. 최근 전력수요 증가에 따른 765kV 초고압 송전선로는 건설과정에서 끊임없는 분쟁이 발생하고 있으며, 심각한 사회문제를 야기시키고 있다. 또한 신울진 원전과 삼척, 영덕 원전단지로부터 3개의 765kV 초고압 송전선로를 추가할 계획이라 인근 지역주민의 반발과 자연 훼손 등의 막대한 사회적 비용이 발생할 것으로 예상된다.

이에 대비하여 전력 수급 위기 상황에서 대응량 비상발전기를 갖춘 건물에 의무적으로 비상발전기를 가

\* Main author : Candidate for the Ph. D, Dept. of Electrical Engineering, Graduate School, Soongsil University

\*\* Corresponding author : Professor, Dept. of Electrical Engineering, Soongsil University

Tel : 02-820-0647, Fax : 02-817-0780

E-mail : jckim@ssu.ac.kr

Received : 2015. 7. 10

Accepted : 2015. 10. 20

동하고 연료 보조비를 지급하는 방안이 피크 타임의 전력 소비를 줄이고 현재의 전력 수요 관리보다 더 싼 비용으로 큰 효과를 볼 수 있다[2]. 비상발전기의 경우 3년마다 정기검사를 수행하고 있으나 대부분의 비상발전기 절체장치가 ATS(Automatic Transfer Switch)로 구성되어 있어 부하 운전 시 정전이 불가피한 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 최근 무정전 자동절체 장치인 CTTS(Closed Transition Transfer Switch)가 보급되고 있으나 기존 ATS에 비해 가격이 고가이며 비상발전기 활용에 대한 인식이 부족하여 보급이 제대로 이루어지지 못하는 실정이다.

본 논문에서는 비상발전기가 무정전으로 절체할 수 있는 CTTS가 도입되었을 때 비상발전기의 비동기 절체 시 발생하는 문제점에 대해서 과도해석프로그램인 PSCAD(Power Systems Computer Aided Design) / EMTDC(Electro-Magnetic Transient Design and Control)를 이용하여 소규모 계통을 모델링 및 시뮬레이션을 통하여 분석하였다. 도출된 문제점에 대해서는 조속기 제어를 통해서 과도상태의 전후를 비교분석하였다.

## 2. 소규모 계통 시뮬레이션 해석

그림 1은 비상발전기가 설치된 수용가와 계통 사이에 CTTS가 연결된 소규모 계통을 나타낸 것이며, 그림 2는 이를 모델링하기 위하여 PSCAD/EMTDC를 이용하여 비상발전기와 계통, 부하 등을 나타내었다 [3-10]. 모델링 대상은 국내의 전체 용량의 50% 이상, 발전기 대수가 85%에 육박하는 500kW 이하의 비상발전기로 하였다[11]. 비교적 용량이 적은 비상발전기의 경우에는 디젤엔진을 이용한 발전기가 대부분이었으며, 조속기 및 자동전압조정기의 구성이 간단한 것으로 나타났다. 특히 여자 시스템은 브러시가 없는 여자를 채택한 것으로 파악되었다. 이를 바탕으로 PSCAD/EMTDC를 이용하여 특성들을 모델링하였다. 시나리오는 최초 계통에서 전력을 공급받고 있는 상태(CTTS\_K ON)에서 비상발전기 측에서 전원을 넘겨주기 위하여 비상발전기 측의 차단기(CTTS\_LV)

를 ON 시켜 병렬 운전을 200ms 간 수행하고, 그 후에 계통 측의 차단기(CTTS\_K)를 OFF하여 절체를 수행한다.

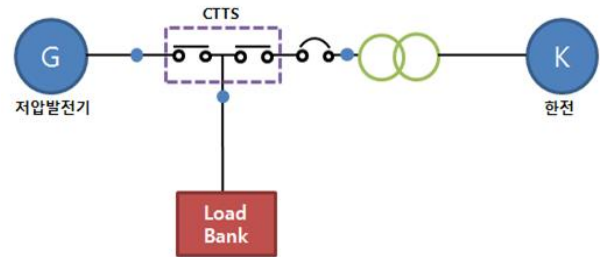


Fig. 1. Diagram of the small distribution system connected the CTTS

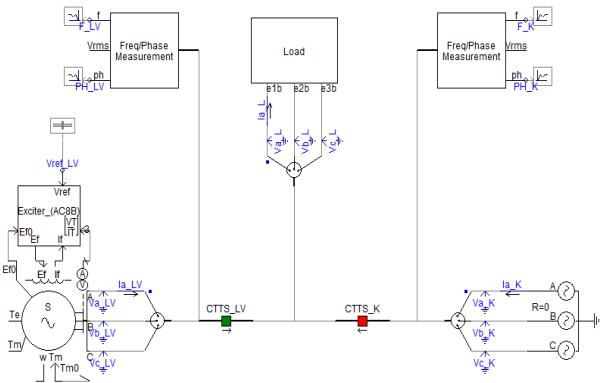


Fig. 2. Small distribution system simulation analysis model

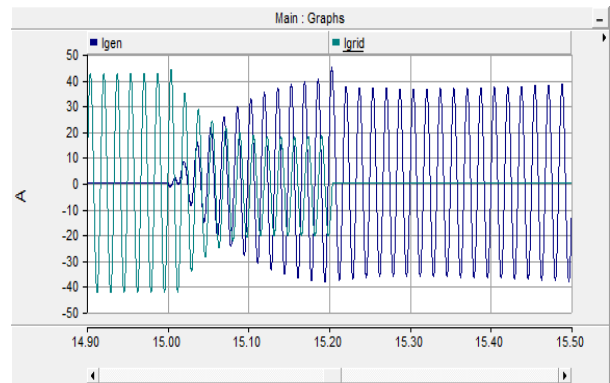


Fig. 3. Current of emergency generator and power system under synchronous condition

그림 3은 위의 계통에서 전압, 위상각, 주파수가 동일한 최초 조건에서 비상발전기 및 계통에 대한

전류 파형을 나타낸 것이다. 비상발전기 측으로부터 차단기가 ON이 되고, 병렬 운전한 200ms(15~15.2sec) 내에서 계통과 비상발전기가 부하 분담을 하다가 계통 측의 차단기를 열어 전류가 0이 되는 형태이다. 절체 시 과도전류가 거의 나타나지 않음을 알 수 있었으며, 이를 바탕으로 하여 비상발전기와 계통 사이에 다양한 비동기 절체 시물레이션 수행 후 비교를 통하여 문제점을 도출하고자 한다.

### 3. 비동기 절체 시물레이션 결과 분석

본 장에서는 위의 그림 2에서 모델링한 것을 바탕으로 비동기 절체 시물레이션을 수행하였다. 시물레이션 사례로는 계통의 전압, 위상, 주파수를 변경하였으

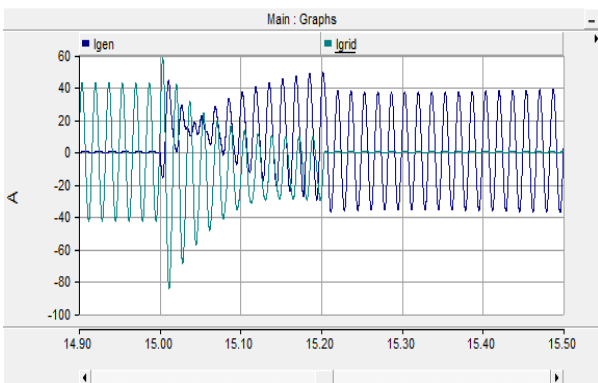


Fig. 4. Current of emergency generator and power system during phase difference of 10°

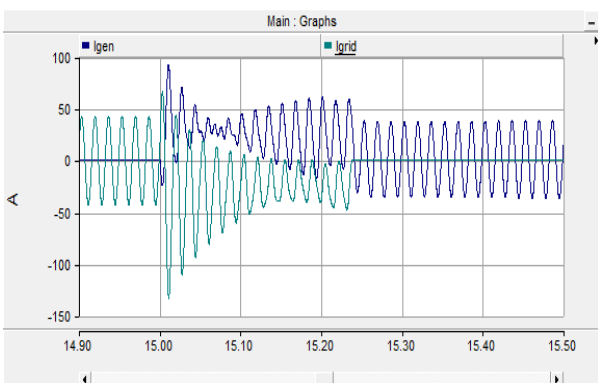


Fig. 5. Current of emergency generator and power system during phase difference of 20°

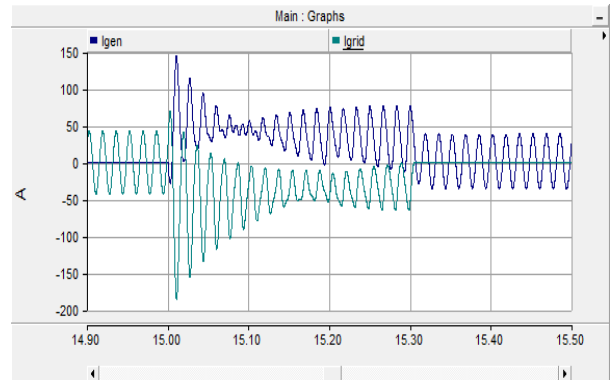


Fig. 6. Current of emergency generator and power system during phase difference of 30°

며, 이를 그림 3의 동기 절체 시물레이션과 비교 분석을 하였다.

#### 3.1 위상차에 따른 시물레이션 결과

그림 4~6은 위상차를 각각 10°, 20°, 30° 변화시켰을 때의 비상발전기 및 계통에 대한 전류 파형을 나타낸 것이다. 비상발전기 측 차단기가 ON 후에 계통 측 차단기가 OFF가 되는 시점에 정상 상태의 전류보다 크게 나타나며, 특히 위상차가 클수록 최대 3배 이상의 전류가 나타나는 것으로 보아 위상 동기화 없이 절체를 하였을 때 발전기의 전기적, 기계적 스트레스를 유발할 수 있을 것으로 판단된다.

#### 3.2 전압 변화에 따른 시물레이션 결과

그림 7~8은 계통 전압을 각각 1.05pu, 1.1pu로 변화시켰을 때의 비상발전기 및 계통에 대한 전류 파형을 나타낸 것이다. 크게 차이는 나지 않지만 절체 후 부하에 공급되는 전류의 과도 상태가 계통 측의 전압 크기가 클수록 더 높게, 그리고 정상 상태로 돌아가는 시간이 더 오래 걸린다는 것을 알 수 있다.

#### 3.3 주파수차에 따른 시물레이션 결과

그림 9~10은 주파수를 각각 59.8Hz, 59.5Hz로 변화

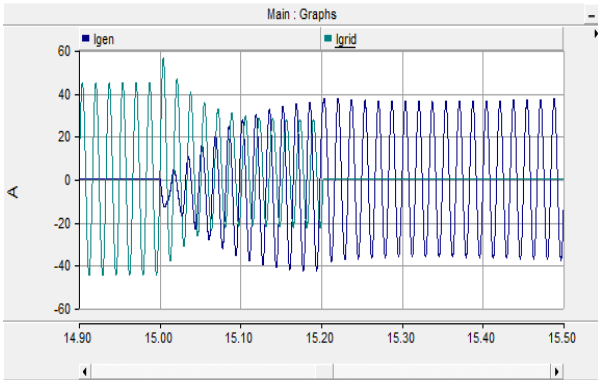


Fig. 7. Current of emergency generator and power system during system voltage of 1.05pu

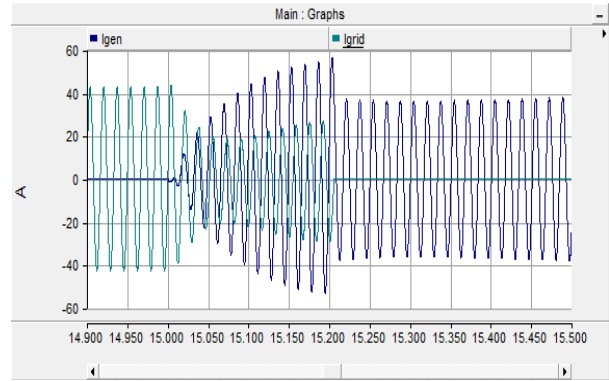


Fig. 9. Current of emergency generator and power system during frequency difference of 0.2Hz

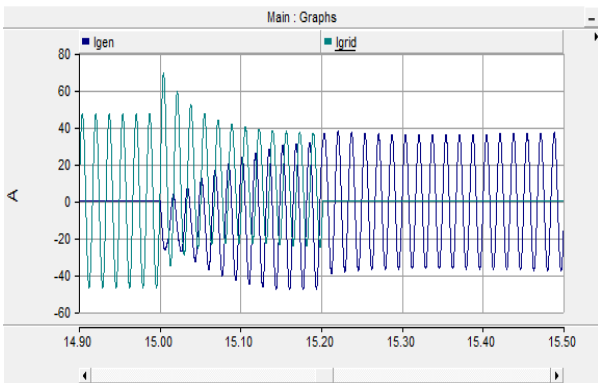


Fig. 8. Current of emergency generator and power system during system voltage of 1.1pu

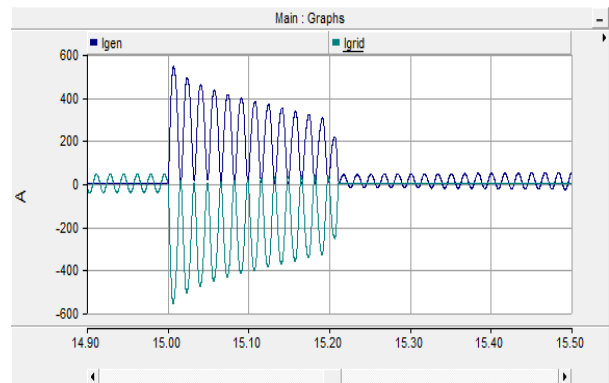


Fig. 10. Current of emergency generator and power system during frequency difference of 0.5Hz

시켰을 때의 비상발전기 및 계통에 대한 전류 과형을 나타낸 것이다. 두 결과를 비교하면 모두 큰 과도 현상이 발생한 것을 알 수 있으며, 특히 59.5Hz의 경우에는 과도 전류의 크기가 정상 상태의 전류보다 약 10배 이상이 나타나기 때문에 이에 대한 대책이 필요할 것으로 판단된다.

#### 4. 조속기 제어를 통한 비동기 절체 시 과도 개선 방안

3장에서는 비동기 절체의 세 가지 사례를 통하여 시뮬레이션을 수행하였다. 분석 결과, 과도 전류의 크기로는 “주파수차>위상차>전압” 순으로 크게 나

타남을 알 수 있으며, 동기화 없이 절체할 경우 발전기의 전기적, 기계적 스트레스가 유발될 것으로 판단된다.

비동기 절체를 동기화하기 위해서는 부하 분담을 위한 기동 중인 비상발전기와 계통 간의 위상, 전압, 주파수를 측정하여 비상발전기의 조속기 및 AVR에 신호를 주어 과도 전류를 개선할 수 있다. 그림 11은 3장의 다양한 사례 중에 과도 전류가 가장 크게 나타난 그림 10의 주파수 0.5Hz 차이의 비동기 절체에서 조속기의 속도를 제어한 결과를 나타낸 것이다. 조속기 제어 시 비상발전기 및 계통 측의 과도 전류가 크게 감소하였으며, 특히 병렬 운전에서 비상발전기의 과도전

류가 그림 3의 정상 상태인 60Hz인 경우와 거의 유사하게 나타남을 알 수 있다.

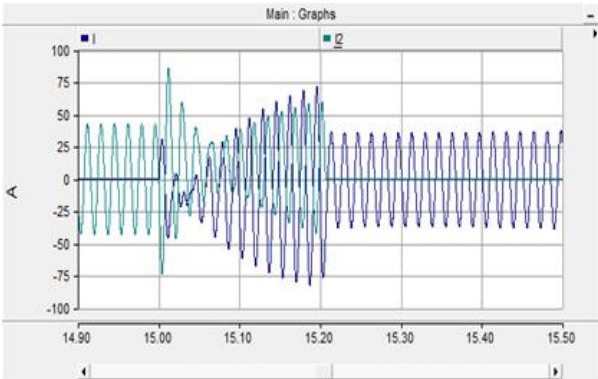


Fig. 11. Current of emergency generator and power system with governor control during frequency difference of 0.5Hz

## 5. 결 론

본 논문에서는 향후에 무정전으로 절체가 가능한 CTTS가 피크 전력을 대비하여 보급되었을 때 절체 시 발생할 수 있는 문제점을 분석하기 위하여 모의 시뮬레이션을 수행하였다. 과도해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 비상발전기와 계통 간의 위상, 전압, 주파수 비동기 절체 시 발생한 과도 전류를 분석한 결과 특히 주파수 비동기의 경우에 정상 상태와 비교하였을 때 10배 이상의 크기가 나는 것으로 나타났다. 이에 대한 해결책으로 비상발전기 및 계통의 위상, 전압, 주파수를 측정하여 그 차이에 대한 값을 PI 제어기를 통해 CTTS에서 비상발전기의 조속기 및 AVR에 신호를 주어 동기 절체에 근접하도록 모델링한 결과 과도 전류가 크게 개선됨을 알 수 있었다.

본 논문에서는 부하를 지상역률 0.95의 R-L 부하의 조합으로 시뮬레이션을 수행하였다. 실부하의 경우에는 전력전자소자를 이용한 컴퓨터 등의 전열부하, 인버터 역할을 수행하는 ASD, 산업용에서 가장 많이 쓰이는 유도전동기 부하 등 실제 사례와 유사하게 모델링하여 발생할 수 있는 문제점 도출 및 이를 개선하고자 한다.

### 감사의 글

이 연구는 2015년도 송실대학교 교내연구비 지원에 의한 연구임.

### 감사의 글

이 연구는 2014년도 한국에너지기술평가원의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

## References

- [1] KPX, "The 6th Basic Plan of Long-Term Electricity Supply and Demand", 2012.09.
- [2] KEPCO, "Study on Improving for Demand-Side Resource of Generator", 2011.12.
- [3] Prabha S Kundur, "Power System Stability and Control", McGraw-Hill, 1994.
- [4] Vivek Kumar Bhatt, Dr. Sandeep Bhongade, "Design Of PID Controller In Automatic Voltage Regulator (AVR) System Using PSO Technique", International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA), Vol. 3, Issue. 4, pp.1480-1485, 2013.07~08.
- [5] A. R. Cooper, D. J. Morrow, K. D. R. Chambers, "Development of a Diesel Generating Set Model for Large Voltage and Frequency Transients", Power and Energy Society General Meeting, 2010 IEEE, 2010.07.
- [6] Ching-Chang Wong, Shih-An Li, Hou-Yi Wang, "Optimal PID Controller Design for AVR System", Tamkang Journal of Science and Engineering, Vol. 12, No. 3, pp. 259-270, 2009.
- [7] M Nagendra, M. S. Krishnarayalu, "PID Controller Tuning using Simulink for Multi Area Power Systems", International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), Vol. 1, Issue 7, 2012.09.
- [8] Ahmed N. Abd Alla, "Simulation Model of Brushless Excitation System", American Journal of Applied Sciences, Vol. 4, No. 12, pp.1079-1083, 2007.
- [9] Le Luo, Lan Gao, Hehe Fu, "The Control and Modeling of Diesel Generator Set in Electric Propulsion Ship", I.J. Information Technology and Computer Science, pp.31-37, 2011.02.
- [10] IEEE, "IEEE Recommended Practice for Excitation System Models for Power System Stability Studies(IEEE Std 421.5 TM-2005), 2005.
- [11] Woon-Ki Han, Hyun-Sung Lim, "Study on Emergency Generators Operating Survey and Characteristics of Power Quality", The Korean Institute of Illuminating and electrical Installation Engineers, Vol. 28, No. 2, pp.16-23, 2014.03.

◇ 저자소개 ◇



**강병욱 (姜炳旭)**

1985년 1월 21일생. 2010년 숭실대학교 전기공학부 졸업. 2012년 숭실대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 숭실대학교 대학원 전기공학과 박사과정.



**채희석 (蔡熙石)**

1984년 10월 6일생. 2011년 숭실대학교 전기공학과 졸업. 현재 숭실대학교 대학원 전기공학과 석박통합과정.



**한운기 (韓雲基)**

1973년 6월 20일생. 1997년 목포대학교 전기공학과 졸업. 2001년 성균관대학교 전기공학과 졸업(석사). 2010년 숭실대학교 전기공학과 졸업(박사). 1998년~현재 한국전기안전공사 전기안전연구원 미래기술연구팀 책임연구원.



**임현성 (林炫成)**

1981년 2월 18일생. 2006년 인천대학교 전기공학과 졸업. 2008년 인천대학교 전기공학과 졸업(석사). 2009년 3월~현재 한국전기안전공사 전기안전연구원 미래기술연구팀 주임연구원.



**권승욱 (權升玉)**

1956년 2월 29일생. 1975년 인하전문대 전기과 졸업. 2012년~현재 (주)리젠코 부설연구소장.



**김재철 (金載哲)**

1955년 7월 12일생. 1979년 숭실대학교 전기공학과 졸업. 1983년 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1988년~현재 숭실대학교 전기공학과 교수. 본 학회 회장.