

무선전력전송 전기충전설비용 전원공급장치의 최적운용방안에 관한 연구

유경상¹, 김병기¹, 김대진¹, 장문석¹, 노대석², 고희상^{*}

¹한국에너지기술연구원 시스템융복합연구실

²한국기술교육대학교 전기전자통신공학부

A study on Protection Coordination Method for Electric Vehicle Charging Facility based on the Wireless Power Transmission

Kyung-Sang Ryu¹, Byungki Kim¹, Dae-Jin Kim¹,

Moon-Seok Jang¹, Daeseok Rho², Hee-Sang Ko^{1*}

¹System Convergence Laboratory, Korea Institute of Energy Research

²Electrical Electronics & Communication Engineering, Korea University of Technology and Education

요약 본 논문에서는 전기자동차 배터리의 충전 방안 중 하나로 여겨지는 무선전력전송을 이용할 경우 발생 가능한 보호협조 문제점을 분석한다. 전기충전을 위한 무선전력전송 시스템을 구축하기 위해서는 전원공급장치 개발이 필수적이나, 전원공급장치의 정확한 설치기준이 없기 때문에 운용 시 보호협조 상에 문제점이 발생 할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 PSCAD/EMTDC로 무선전력전송 전기충전설비용 전원공급장치를 모델링하여 가능성 있는 사고를 모의해보고, 이를 해결할 수 있는 대안을 제시하고자 한다. 즉, 사고 발생 시, 전원공급장치의 60Hz 대역에서 정격차단용량(12.5kA) 상회 가능성과 20kHz 대역에서의 임피던스 병렬화로 인한 보호기기의 부동작 가능성을 시뮬레이션을 통해 확인하였고, 이에 대한 해결책으로 대칭좌표법을 이용한 사고해석 알고리즘과 사고전류를 저감시킬 수 있는 NGR 산정 알고리즘을 제안하였다. 이를 통해 60Hz 대역에서는 NGR(Neutral Ground Resister)을 도입하여 사고전류를 정격차단용량 이하로 저감시키고, 20kHz 대역에서는 중선선에 CT 설치 및 이에 대한 보호정정을 통해 보호기기 부동작이 방지됨을 확인하였다.

Abstract This paper deals with the power supply facility providing wireless power transmission for a type of electric vehicles called the on-line electric vehicle(OLEV) and proposes optimal protection coordination methods which analyze the faults in the 60Hz and 20kHz bands using PSCAD/EMTDC, which is the typical commercial software for the distribution system. The simulation results show that the proposed methods can reduce the fault current by introducing an NGR (Neutral Ground Resistor) in the 60Hz band and prevent the malfunctioning of the protection device by installing a CT in the neutral wire in the 20kHz band when a ground fault occurs.

Keywords : protection coordination, PSCAD/EMTDC, NGR(neutral ground resister), wireless power transmission system, malfunction, power supply facility

1. 서론

전 지구 규모적인 환경오염에 대한 문제를 해결하기 위해 세계 각국에서는 하이브리드, 플러그인, 배터리 전

기자동차와 같은 다양한 종류의 친환경 자동차 개발에 많은 노력을 하고 있다. 그 중에서도 배터리만으로 운행하는 전기자동차가 가장 현실적인 대안으로 제시되고 있으나, 배터리의 무게, 가격, 수명, 충전시간, 제한된 주행

본 논문은 한국에너지기술연구원 주요사업(B7-2442)을 재원으로 수행한 연구과제의 결과임

*Corresponding Author : Hee-sang Ko(Korea Institute of Energy Research)

Tel: +82-64-800-2223 email: heesangko@kier.re.kr

Received June 19, 2017

Revised (1st August 22, 2017, 2nd September 14, 2017)

Accepted September 15, 2017

Published September 30, 2017

거리, 충전인프라의 구축 등은 해결해야 될 과제로 남고 있다. 따라서 기존 전기자동차가 가지고 있는 한계를 극복하기 위하여, 무선전력전송용 전기자동차의 개발과 관련된 연구가 진행되고 있으며, 이를 위해서는 무선전력전송용 전원공급장치에 대한 선행 연구가 필수적이다[1-9].

이러한 배경 하에 본 논문에서는 무선전력전송용 전원공급장치를 도입하는 경우, 과도상태에서 설비의 충격을 최소화시키고, 안정적으로 운용할 수 있도록 하는 최적협조방안을 제시한다. 구체적으로 배전계통 해석의 대표적인 상용 소프트웨어인 PSCAD /EMTDC로 전원공급장치의 모델링을 수행하여, 사고 발생 시, 60Hz 대역과 20kHz 대역에서 발생 가능한 보호협조 문제점을 분석하고, 이를 해결할 수 있는 대안을 제시하고자 한다. 즉, 사고 발생 시, 전원공급장치의 60Hz 대역에서 정격 차단용량(12.5kA) 상회 가능성과 20kHz 대역에서의 임피던스 병렬화로 인한 보호기기의 부동작 가능성을 시뮬레이션을 통해 확인하였고, 이에 대한 해결책으로 대칭좌표법을 이용한 사고해석 알고리즘과 사고전류를 저감시킬 수 있는 NGR 산정알고리즘을 제안하였다. 이를 통해 60Hz 대역에서는 NGR(Neutral Ground Resister)을 도입하여 사고전류를 정격차단용량 이하로 저감시키고, 20kHz 대역에서는 계통의 중성선에 CT를 설치하고 전원공급장치의 보호정정을 최소동작전류에 의한 순시탭 설정으로 보호기기 부동작을 방지함으로써 제한한 방식이 무선전력전송 전기충전설비용 전원공급장치의 운용에 있어서 안정성을 확보할 수 있음을 제시하고자 한다.

2. 실계통의 문제점 분석

2.1 60Hz 대역에서의 사고사례

계통에서 사고가 발생하였을 경우, 사고과급 확대를 방지하기 위하여, 사고지점에서 가장 근거리에서 있는 전위보호기기가 신속하게 동작되도록 보호협조운용을 하고 있다. 하지만, 전력을 소모하는 무선전력전송용 EV 충전기의 1차 측에서 지락사고가 발생하는 경우, 계통과의 연계를 위해 도입된 변압기가 Δ - Δ 결선으로 이루어져 되면 사고를 신속히 차단하지 못하여 3상 단락사고로 확대될 수 있는 가능성을 가지고 있다. 즉 대상설비와 유사한 계통에 대하여 사고원인을 분석해보면, Fig. 1과 같이 지락사고발생시 차단지연으로 과부하 상태가 된

GPT(ground potential transformer) 및 CLR(current limit resistor)이 소손되어 3상 단락사고를 야기한 것으로 확인되고 있다[10]-[11]. 여기에서 무선전력전송용 EV 충전기 설비는 발전원이 아니기 때문에 변압기 결선은 Δ - Δ 로 채택되고, 지락사고 검출에 대해서는 CLR 및 GPT에 의한 방식이 적용된 유사계통을 분석하였다[12]-[13].

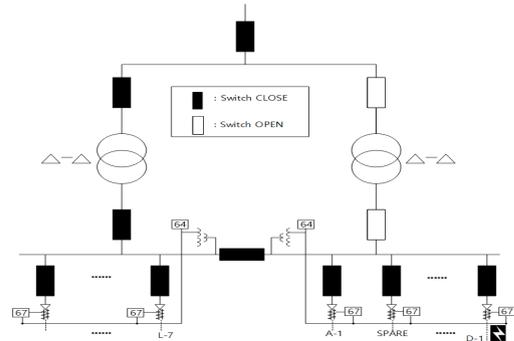


Fig. 1. Fault case of real distribution system

2.2 고주파대역(20kHz)의 사고사례

Fig. 2는 무선전력전송장치의 일반적인 구성도로서, 전력을 전송하기 위한 고주파대역계통에서의 지락사고 특성을 분석해 보면, 사고전류는 인버터의 최대부하전류의 제한치를 초과하지 않는 범위에서 발생하였고. 전원공급장치의 OCGR(over current ground relay)은 오-부동작하여 사고차단에 실패할 가능성이 있음을 확인하였다[14]-[15]. 여기에서 고주파대역에서의 변압기 결선 방식은 Δ -Y이고, 접지형태는 TN 본딩 접지를 채택하였다. 상기의 분석을 바탕으로 문제점을 분석해보면, 최대 사고전류는 인버터의 정격전류에 의해 결정되어 수배전반 2차 측에서 상 불평형이 발생하지 않아 사고전류 검출이 불가능하였으며, 인버터 측과 수배전반 변압기 측의 중성선에 통과하는 전류는 TN-C방식과 임피던스의 크기에 의하여 사고전류가 분류되는 현상이 나타난 것으로 분석된다.

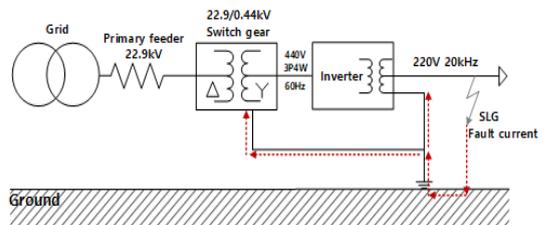


Fig. 2. Characteristic of single line fault at vehicle charging facility in high frequency boundary

3. 무선전력전송용 전원공급장치의 보호협조 알고리즘

3.1 사고해석 알고리즘

Fig. 3은 본 논문에서 제안하는 무선전력전송용 전원공급장치의 안정적인 운용을 위한 사고해석의 알고리즘으로서, 이에 대한 해석절차를 나타내면 아래와 같다.

- [STEP 1] 무선전력전송 전기자동차용 전원공급장치가 도입된 자기선로에 대하여 변전소의 전원측, 연계용변압기, 선로공장이 고려된 % 임피던스를 산정한다.<사고지점 기준>
- [STEP 2] 접지 종류, 변압기, 각종 선종 및 기기의 % 임피던스를 고려하고, 사고전류 계산에 따른 계전기 셋팅을 실시하여 보호협조 판정을 수행한다.
- [STEP 3] 만약 보호협조 문제점이 발생할 경우에는 접지방식 및 보호기기 구성에 따른 사고전류를 재계산한다.
- [STEP 4] 상기의[STEP 3]의 과정이 완료되면 계전기의 순시동작 및 지연동작의 정정치를 고려한 최적의 보호협조 방안을 결정한다.

상기의 절차를 바탕으로 알고리즘을 흐름도로 나타내면 Fig. 3과 같다.

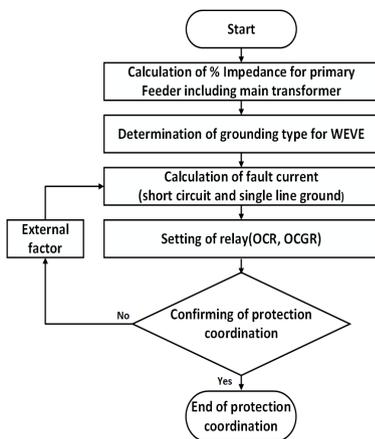


Fig. 3. Protection coordination algorithm of vehicle charging facility system

3.2 사고전류 저감을 위한 NGR 산정 알고리즘

지락사고발생시 큰 고장전류와 유도장애로 인한 절연파괴 및 통신선의 유도장애 등의 문제점을 해결하기 위하여, 계통에서는 중성선 및 접지측에 NGR을 도입하는 방식을 채택하고 있다. 따라서 본 논문에서는 상기에서 언급한 NGR의 특성을 이용하여, 무선전력전송용 전기차 전원공급장치측에서 발생하는 사고전류를 저감시킬 수 있는 NGR 산정알고리즘을 제안하며, 이를 산정하기 위한 절차를 나타내면 다음과 같다.

- [STEP 1] 무선전력전송 전기자동차용 전원공급장치 (Wireless Electric Vehicle Switch gear, 이하 WEVS)가 도입된 계통의 전원측 모선, 주변압기, 고압선로 케이블, 연계용변압기 등의 계통도를 작성하고, 정상분과 영상분에 대한 %임피던스 맵을 작성한다.
- [STEP 2] 보호기기오동작 방지를 위한 NGR 용량을 산정하고 이를 추가한 %임피던스 맵을 다시 작성한다.
- [STEP 3] 산정된 NGR 용량을 반영하여, 사고발생시 지락전류(I_{ff})와 중성선 전류(I_0)를 산정한다.
- [STEP 4] I_0 와 OCGR 설정값(정격전류의 30%)을 비교하여, 설정값을 초과하게 되면 [STEP 2]로 돌아가서 NGR 용량을 재산정한다.
- [STEP 5] 만약 설정값 이내이면 유효접지범위를 만족하는지 검토하고, 이를 만족하지 않는다면 [STEP 2]로 돌아간다.
- [STEP 6] 유효접지범위를 만족하게 되면, 전원공급장치의 1차측(AC440V)에 도입된 OCGR의 보호기기 정정치를 계산하여 보호협조를 완료한다. 만약, 유효접지를 만족하지 않으면 [STEP 2]에서 NGR 용량을 재산정하여 하위단계를 지속한다.

상기의 알고리즘을 흐름도로 나타내면 Fig. 4와 같다.

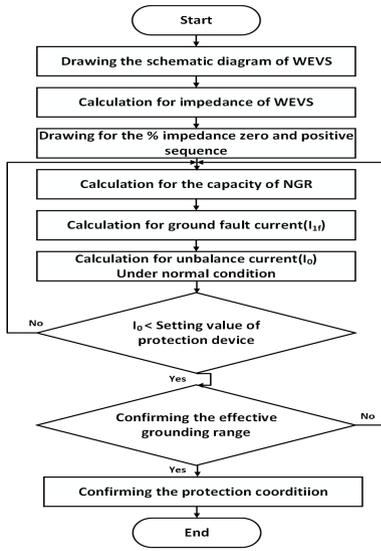


Fig. 4. Estimation algorithm of protection control device (NGR) at vehicle charging facility system

상기 알고리즘으로부터 계통에서 사고가 발생하는 경우, 사고전류를 보호계전기 설정값 이하로 제한하기 위한 NGR 용량은 식 (1), (2)와 같이 산정된다.

$$I_0 = \frac{3 \times 100}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_f} \times \frac{MVA}{\sqrt{3} \times V_n} \leq I_{set} \quad (1)$$

$$3Z_f = \frac{\%Z \times 10 \times V_n^2}{MVA} \Omega \quad (2)$$

여기서, I_0 : NGR 도입에 따라 제한되는 중성선 전류 [A], Z_1 :정상분 임피던스, Z_2 : 역상분 임피던스, Z_0 : 영상분 임피던스, V_n :변압기2차측 정격전압, Z_f : NGR 용량 [Ω], I_{set} : OCGR 설정값 [A], $\%Z$: 기준 %임피던스 [%]

또한, NGR을 산정하여 도입할 경우, 건전상 대지전압의 유효접지범위(공칭전압의1.25배) 이내를 만족하는 지에 대한 판단여부는 발전기 기본식인 식(3)과(4)에 NGR이 고려된 임피던스(영상분, 정상분)를 적용하여 결정하게 된다.

$$\dot{V}_b = \dot{V}_0 + a^2 \dot{V}_1 + a \dot{V}_2 = \frac{\dot{Z}_0(a^2 - 1) + Z_2(a^2 - a)}{\dot{Z}_0 + \dot{Z}_1 + \dot{Z}_2} \dot{E}_b \quad (3)$$

$$\dot{V}_c = \dot{V}_0 + a \dot{V}_1 + a^2 \dot{V}_2 = \frac{\dot{Z}_0(a - 1) + \dot{Z}_2(a - a^2)}{\dot{Z}_0 + \dot{Z}_1 + \dot{Z}_2} \dot{E}_b \quad (4)$$

여기서, V_b, V_c : 건전상 전압, Z_1 :정상분 임피던스, Z_2 : 역상분 임피던스, Z_0 : 영상분 임피던스, E_b, E_c : 발전기 내부전압 (공칭전압의1.1배), a :벡터(120°)

4. 무선전력전송용 전원공급장치 모델링

4.1 PSCAD/EMTDC에 의한 전원공급 장치 모델링

본 연구에서는 전원공급장치에서 사고가 발생할 경우, 이에 대한 문제점을 분석하고 해결방안을 제시하기 위하여, Fig. 5와 같이 PSCAD/EMTDC를 이용하여 계통 및 전원공급장치의 모델링을 수행하였다. 구체적으로, 계통은 22.9kV급 배전계통을 모의하였고, 전원공급장치는 22.9kV/440V 변압기(Z= 5%)와 AC(60Hz)-DC-AC(20kHz)로 변환시키기 위한 AC-DC컨버터 그리고 20kHz용 AC-DC 인버터(인버터 내부 Z=15%)로 구성된다. 여기에서, 변압기 2차측 중성선과 인버터 후단(인버터 내부 변압기)의 접지 측을 TN-C 방식으로 연결하여, 60Hz 대역(변압기 2차측)과 20kHz 대역에서의 지락사고를 모의하였다.

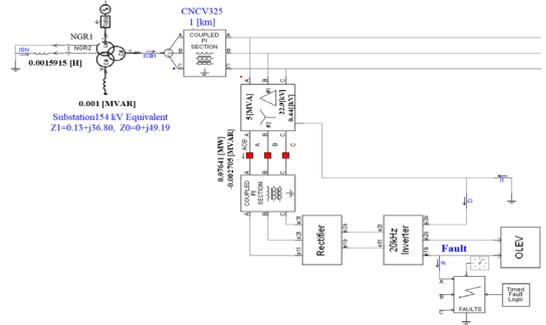


Fig. 5. Modeling of switchgear for vehicle charging facility

(1) 배전선로 모델링

지압선로는 Fig. 6과 같이 부하의 정격전류를 고려하여 PSCAD/EMTDC 상에서 120mm² 전선로에 대한 임피던스를 입력한다. 또한 선로길이 변경을 통해 사고전류의 크기를 모의하고, 전선로의 %임피던스는 Table. 1을 통해 적용한다.

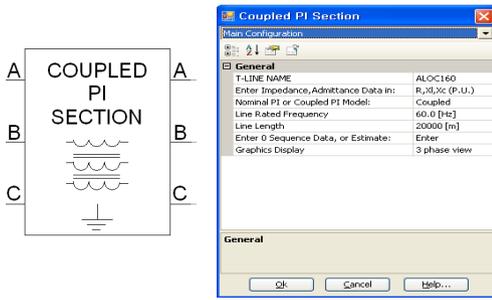


Fig. 6. Internal parameter of distribution line

Table. 1. Line impedance of secondly feeder (100MVA.ref)

Classification	Cable type	R(%/km)	jX(%/km)
Positive sequence	TFRCV 120	5.8	0.842
Zero sequence	TFRCV 120	14.2	32.6

(2) AC-DC 컨버터 모델링

AC-DC컨버터는 Fig. 7과 같이 IGBT 소자를 이용하여 6 pulse 게이트로 DC 변환을 모의 하였다. 여기서 DC전압은 계통의 전압(440V)을 추종하도록 PLL(Phase Locked Loop)을 이용하였고, 디코더에 PLL의 신호와 펄스폭을(30도) 조정하여, IGBT의 게이트(T₁ ~T₆)가 동작되도록 모델링을 수행하였다.

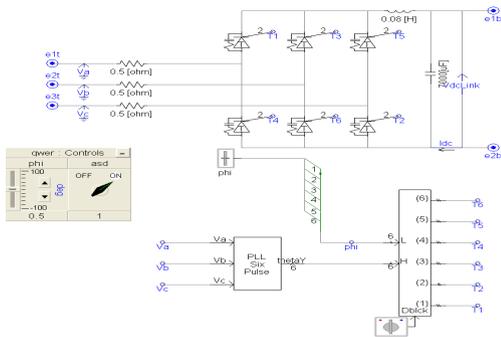


Fig. 7. Modeling of AC-DC converter

(3) 20kHz 인버터 모델링

Fig. 8은 PSCAD/EMTDC를 이용하여 20kHz 인버터를 모델링한 것이다. 20kHz 대역의 회로는 단상으로 구성을 해야 하지만, 변압기의 중성선을 모의하는 것이 어려워 6 signal을 이용한 20kHz 대역의 회로를 구성하였

다. 전압은 외부의 전원을 독립적으로 전류제어 회로에 제공함으로써 정전류원으로 20kHz 대역에 전원이 공급 되도록 하였다. 여기서 삼각파 펄스는 20kHz 대역으로 모의하였고, 전원의 용량을 제어할 수 있도록 전류제어 알고리즘을 적용하였다.

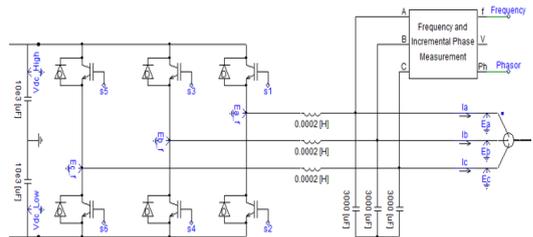


Fig. 8. Modeling of inverter for 20kHz high frequency

4.2 ETAP에 의한 전원공급장치 모델링

상기 PSCAD/EMTDC의 모델링을 통해 분석한 문제점을 토대로 보호협조 방안을 제안하기 위해, 사고분석 상용프로그램인 ETAP을 이용한 전원공급장치 모델링을 수행하였다.

(1) 수배전반 모델링

Fig. 9는 계통 측 수배전반의 입력데이터로서 변압기는 Δ-Y결선, 200kVA, %임피던스는 몰드변압기 규격인 5% 적용하였다. 또한 2차 측에 보호기기를 설치하고, 변압기의 X/R(비대칭)비는 IEEE Typical 값인 3.09로 적용하였다.

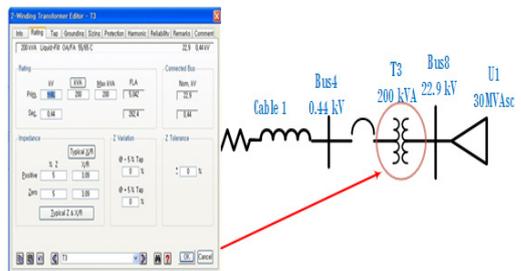


Fig. 9. Input data of service transformer for switchgear

(2) DC-AC 인버터 모델링

Fig. 10과 같이 고주파대역 변환용 인버터 입력데이터는 교류정격전류가 되도록 조절하였으며, 인버터 내부 전류 제한치(K)는 정격전류의 100%로 설정하였다. 여기

서 사고 발생 시 인버터에서 발생하는 단락전류(Isc)는 $K(\text{Current limit\%: } 100\%) \times \text{최대부하 전류(Full Load Ampere, 이하 FLA)}$ 로 상정된다.

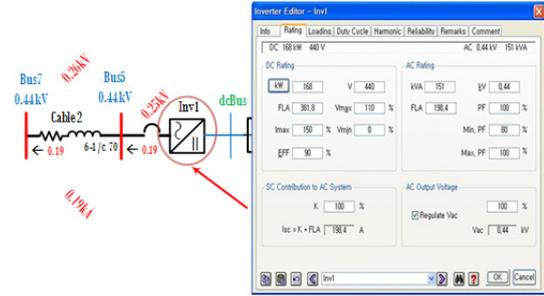


Fig. 10. Input data of Inverter for 20kHz High frequency

5. 시뮬레이션 및 최적의 보호협조방안

5.1 시뮬레이션 조건

Fig. 11은 전원공급장치에서 사고 발생 시, 문제점을 분석하고 해결방안을 제시하기 위한 전기충전설비용 전원공급장치 시스템의 전체 구성도를 나타내며, 22.9kV 급 배전계통, 22.9kV/440V 변압기($Z=5\%$)의 전원공급부, AC(60Hz)-DC- AC(20kHz)로 변환시키기 위한 AC-DC컨버터 그리고 20 kHz용 AC-DC 인버터(인버터 내부 $Z=15\%$)로 구성된다. 여기에서, 변압기 2차측 중성선과 인버터 후단(인버터 내부변압기)의 접지 측을 TN-C 방식으로 연결하여, 60Hz 대역(변압기 2차측)과 20kHz 대역에서의 지락사고를 모의하였다. 여기에서 지락사고는 저압측에서 모의되기 때문에 변압기특성에 의하여 선로임피던스는 저압측만 고려하였고, 이에 따른 선로공장은 연계용 변압기로부터 사고 발생지점까지 거리로서 200m를 적용하였다.

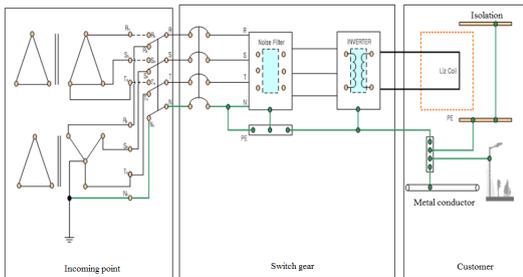


Fig. 11. Configuration of vehicle charging facility System

5.2 60Hz 대역의 사고분석

전원공급장치(변압기2차측)의 60Hz 대역에서의 사고 분석을 수행하기 위해, 변압기 임피던스는 5%로 상정하고, 변압기 용량은 200kW, 접지방식은 TN-C에 의한 직접접지 방식을 채택하였다. Fig. 12는 시뮬레이션 결과로서, 전원공급장치의 수전변압기 2차측에서 지락사고가 발생할 경우, 사고전류는 12,764 A로서 보호기기의 정격차단용량(12.5kA)을 상회함을 확인하였다.



Fig. 12. Single line ground fault current in secondly feeder

한편 사고전류는 사고지점의 변화에 따라 전류의 크기가 변화하기 때문에 최적의 NGR 산정을 위하여 선로공장에 따른 60Hz 대역의 사고해석을 수행하였다. 시뮬레이션 조건은 수전변압기 2차측을 기준으로 선로공장을 50m 단위로 5,000m 까지 변화시켜 사고 발생에 따른 전류 크기를 분석하였다. 시뮬레이션 결과, Fig. 13과 같이 전원공급장치(수전변압기 2차측)에서 무선전력공급지점까지 사고전류가 최대 1kA 이상 감소하여 NGR 선정 시 거리에 따른 사고전류를 고려해야 함을 확인하였다.

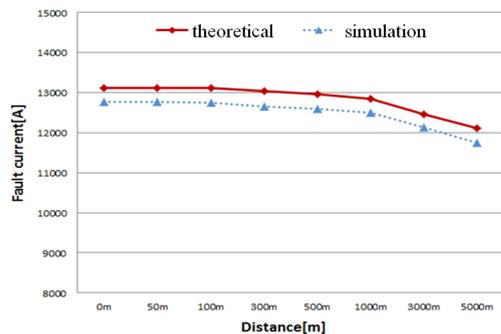


Fig. 13. Pattern analysis of SLG fault current by line length variation

5.3 20kHz 대역의 사고분석

20kHz 대역의 선로에 사고를 모의하여 시뮬레이션을 수행한 결과, Fig. 14와 같이 고주파 대역에서의 사고전류는 인버터 최대출력전류의 영향을 받아 180A 가 발생함을 알 수 있다.

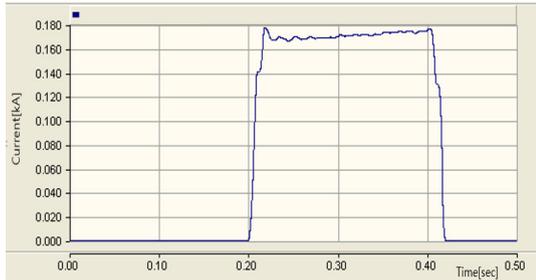
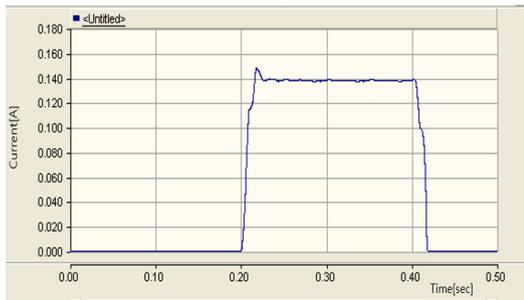
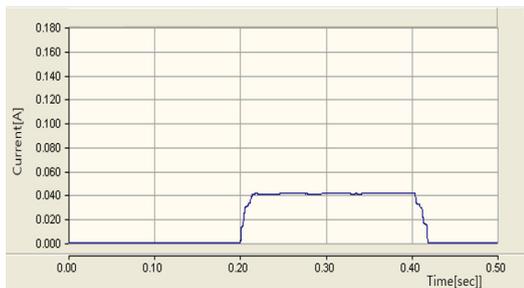


Fig. 14. SLG Fault current in 20kHz high frequency

또한, Fig. 15와 같이 고주파대역(20kHz)에서의 사고전류는 인버터 최대출력전류의 영향을 받아 사고지점으로부터 %임피던스가 큰 인버터측보다 상대적으로 %임피던스가 작은 변압기 2차 측(중성선)으로 더 많은 지락전류가 기여함을 확인할 수 있었다. 즉, 수배전반 측의 사고전류는 임피던스 병렬화에 의한 사고전류 감소로 기존 보호기기의 정정된 값 보다 작아 보호기기의 부동작 가능성을 확인하였다.



(a) SLG Fault current at switchgear



(b) SLG fault current at inverter for 20kHz

Fig. 15. SLG Fault current at each neutral ground location

한편 ETAP으로 보호기기 운용을 수행한 결과, Fig 16과 같이 수배전반 2차 측은 불평형 사고가 발생하지 않아 기존 3CT 결선에 의한 사고전류 검출이 불가능 하였고, 이에 따라 보호기기가 부동작 할 수 있음을 확인하였다.

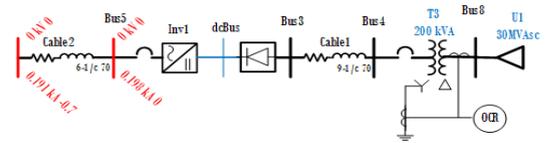


Fig. 16. Result data for operation of protection device by ETAP software

5.4 60Hz 대역의 전원공급장치 최적보호협조 방안

상기의 시뮬레이션 결과로부터 사고전류를 감소시키는 방안으로, NGR 산정 알고리즘에 의한 보호제어장치의 설치를 제안한다. 구체적으로, 상기의 알고리즘을 바탕으로 NGR 용량을 산정한 후, Fig. 17과 같이 수배전반의 2차측에 도입하여 지락사고 시뮬레이션을 수행하였다. 그 결과, Fig. 18과 같이 NGR 도입 후, 사고전류가 감소하고, 건전상 대지전압이 334V로서 유효접지 범위 이내로 전압이 상승됨을 알 수 있었다. 따라서 전원공급장치 변압기 2차측 접지측에 NGR을 설치하게 된다면 사고전류가 1/2로 감소하여 충격 완화 및 보호기기 용량을 감소시킬 수 있음을 확인하였다.

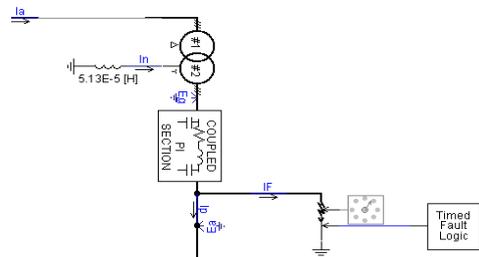
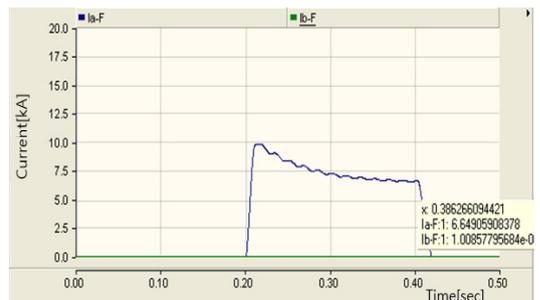


Fig. 17. Adapted location of protection control device(NGR)



(a) SLG fault current in case of introduced NGR



(b) Voltage between phase and ground at SLG fault

Fig. 18. Fault characteristic in case of introduced NGR by PSCAD/EMTDC

5.5 20kHz 대역의 전원공급장치 최적보호협조 방안

(1) CT결선 방안

고주파대역에서 사고발생시, 수배전반 2차 측은 사고 불평형이 발생하지 않아 3CT 결선에 의한 사고전류 검출이 불가능하다. 따라서 Fig. 19와 같이 중성선에 CT를 설치하여 독립적으로 지락전류를 감지할 수 있도록 결선 방식을 제안하였다.

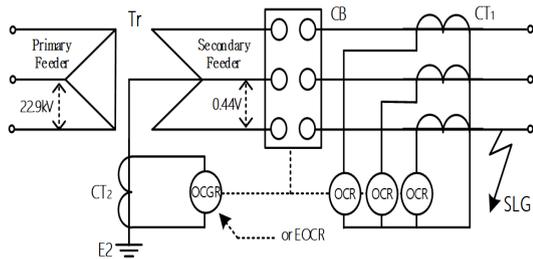


Fig. 19. Proposed method for CT connection

(2) 보호기기 정정방안

상기의 결선방식에 따라 차단기의 오·부동작을 방지하기 위해 Table. 2와 같이 수전 변압기 2차 측 OCGR의 보호정정을 실시한다. 여기서 계전기는 순시동작에 의한 탭 설정을 보호정정지침에 따라 최대부하전류의 30%로 선정한다. 또한 최소동작전류에 의해 CT비를 선정 후, 수전변압기 2차 측 지락사고 시 최대사고전류와 최소동작전류의 비에 따른 Ground Pick Up을 최소동작전류 78.72 A 를 기준으로 ACB Trip Device가 제공하는 최소 세팅치(I_{set})로 선정한다. 여기에서, I_{set} 은 계전기의 전류 정정치를 의미한다.

Table 2. Protection coordination calculation results of OCGR

Classification	OCGR Relay	ACB Trip Device
Model	SEL451	Square-D
Curve Type	Normal Inverse	N/A
Relay operation current (A)	78.72	I_{set}
CT ratio (A)	100/5	N/A
Trip Time (sec.)	0.7	0.4

(3) OCGR 보호협조 TC곡선 분석

Fig. 20은 상기 릴레이 정정계산을 통해 작성한 지락 사고 시 보호협조곡선으로서, 1차 측 과 2차 측 ACB 계전기의 동작시간(Trip Time)이 각각 0.7, 0.4 초 정도였고, 시간간격(Time Interval)도 최대 1선 지락전류에서 0.3 초 이상 확보되어 보호협조가 충분히 이루어짐을 확인할 수 있다.

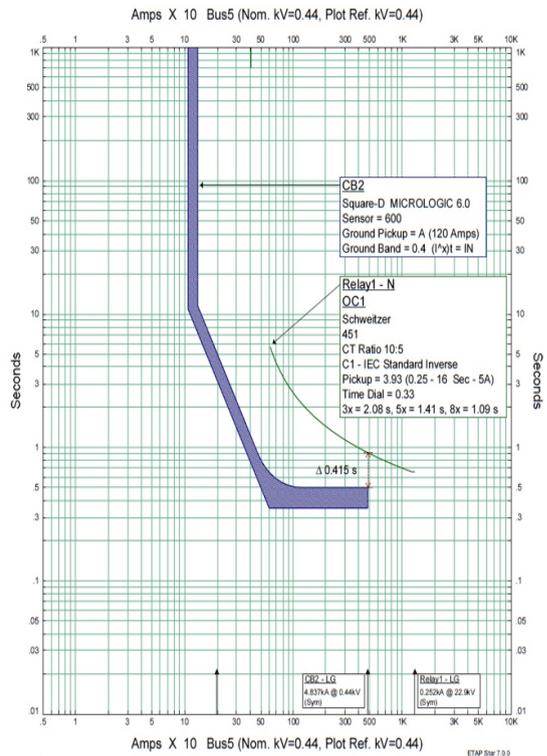


Fig. 20. Time-coordination curve of OCGR

6. 결론

본 논문에서는 무선전력전송 전기충전용 전원공급장치에 대한 최적운용방안을 제시하기 위해, 전원공급장치의 모델링을 수행하여 60Hz 대역과 20kHz 대역에서 사고가 발생할 경우, 이에 대한 문제점을 분석하고 대책방안을 제안 하였다. 주요 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 전원공급장치의 60Hz 대역에서의(수전변압기 2차측) 사고발생시 사고전류를 감소시키는 방안으로 NGR을 삽입하여 시뮬레이션을 수행한 결과, 지락사고 전류가 감소하고, 건전상 대지전압이 유효접지 범위인 1.25배가 고려된 334V 미만으로 전압이 상승함을 확인하였다. 따라서 전원공급장치의 NGR을 설치하게 된다면 사고전류가 1/2로 감소하여 충격 완화 및 보호기기 용량을 감소시킬 수 있음을 확인하였다.
- (2) 고주파대역(20kHz)에서의 사고전류는 인버터 최대출력전류의 영향을 받아 사고지점으로부터 % 임피던스가 큰 인버터측보다 상대적으로 %임피던스가 작은 변압기 2차 측(중성선)으로 더 많은 지락전류가 기여하여, 임피던스 병렬화에 의한 사고전류 감소로보호기기의 부동작 가능성을 확인 하였다. 이에 대한 대책방안으로 중성선에 CT를 설치하여 독립적으로 지락전류를 감지할 수 있도록 결선방식을 제안하고, 전원공급장치의 보호정정을 최소동작전류에 의한 순시탭 설정으로 부동작 현상을 방지할 수 있음을 알 수 있었다.

References

- [1] Kesler, M.; Kisacikoglu, M.C.; Tolbert, L.M. Vehicle-to-grid reactive power operation using plug-in electric vehicle bidirectional offboard charger. IEEE Trans. Ind. Electron., 61, pp. 6778 - 6784, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1109/TIE.2014.2314065>
- [2] Guideline for Interconnection of Distributed Generation System in Distribution Systems, KEPCO, 2012.
- [3] IEEE 1547.1 "IEEE Standard conformance Test Procedures for Equipment Interconnecting Distributed Resources with Electric Power System", 2005. DOI: <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2015.7100815>
- [4] R. F. Arritt, R. C. Dugan "Distributed generation interconnection transformer and grounding selection" Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, IEEE, pp. 1 - 7, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1109/PES.2008.4596772>
- [5] Jae-Hwan Park, Inductance and Electrical Properties of Wireless Power Transmission Coil, Asia-pacific Journal of Multimedia Services Convergent with Art, Humanities, and Sociology, vol. 6, no. 2, pp. 473-480, Feb. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.14257/AJMAHS.2016.02.12>
- [6] Hae-Chan Park, Il-Song Kim, Design of Auxiliary Rescue Inverter System, Asia-pacific Journal of Multimedia Services Convergent with Art, Humanities, and Sociology, vol. 6, no. 4, pp. 351-360, April 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.14257/AJMAHS.2016.04.18>
- [7] Jaeoh Kim, Kyung-Jung Lee, Hyun-Sik Ahn, Chanwoo Moon, A Study on Mobile Robot Auto Recharging System Based on Wireless Power Transmission and Visual Information, The Journal of The Institute of Webcasting, Internet and Telecommunication, vol. 11, no. 5, pp. 35-40, 2011.
- [8] Young-Kee Ryu, Wireless Power Transmission Technology for Implantable Telemetry Device based on Multiple Transmit Coils, The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication (IIBC), vol. 15, no. 2, pp. 203-211, Apr. 30, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.7236/IIBC.2015.15.2.203>
- [9] Sungeon Kim*, Taehyun Jeon, Effect of Interference from DC Power Supply on Power Line Communication Channel, The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication (IIBC), Vol. 14, No. 5, pp.111-115, Oct. 31, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.7236/IIBC.2014.14.5.111>
- [10] A. Girgis, S. Brahma, "Effect of Distributed Generation on Protective Device Coordination in Distribution System," Power Engineering, LESCOPE'01. 2001 Large Engineering Systems Conference, 11-13, pp. 115 - 119. July, 2011.
- [11] Philip P. Barker, Robert W. de Mello, "Determining the impact of distributed generation on power systems: Part 1 - Radial distribution systems", in Proc. IEEE Power Eng. Soc. Summer Meeting, vol. 3, pp. 1645-1656, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1109/PES.2000.868775>
- [12] Dae-seok Rho, "Countermeasures on bi-directional Protective Device Coordination of smart grid connected to new energy generation", The world of electric, vol. 5, no. 9, pp. 39-43, 2010.
- [13] So-Hee Kim and Dae-seok Rho, "Development of Operation System for Customer Protection Devices with Distributed Generation", Korea Academia-industrial cooperation society, announced Fall conference proceedings in 2010, pp. 62-65, nov. 2010. DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2013.14.6.2971>
- [14] So-Hee Kim and Dae-seok Rho, "Evaluation Algorithm for Coordination Protection Between Recloser and Distributed Generation Relay", Korea Academia-industrial cooperation society, announced Spring conference proceedings in 2010, pp. 69-72, May 2011.
- [15] Daeseok Rho, "Optimal Operation Method for Voltage Regulator in Primary Feeder with Distributed Generators", Journal of KAIS, vol. 12, no. 6, pp. 2698-2706, 2011. DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2011.12.6.2698>

유 경 상(kyung-Sang Ryu)

[정회원]



- 2007년 8월 : 한국기술교육대학교 전기공학과 졸업.
- 2013년 2월 : 동 대학원 전기공학과 졸업(석사).
- 2013년 2월 ~ 현재 : 한국에너지기술연구원 연구원 재직 중.

<관심분야>

operation of power distribution systems, energy storage system, power quality.

장 문 석(Moon-Seok Jang)

[정회원]



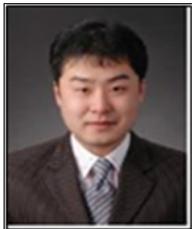
- 1984년 2월 : 한양대학교 기계공학과 졸업.
- 1987년 2월 : 한양대학교 대학원 기계공학과 졸업(석사).
- 1994년 2월 : 한양대학교 대학원 기계공학과 졸업(박사)
- 1994년 8월 ~ 현재 : 한국에너지기술연구원 연구원 재직 중

<관심분야>

microgrid, distribution network

김 병 기(Byungki Kim)

[정회원]



- 2008년 2월 : 한국기술교육대학교 전기공학과
- 2012년 2월 : 동대학원 전기공학과 (석사)
- 2015년 8월 : 동대학원 전기전자통신공학과 졸업 (박사)
- 2016년 10월 ~ 현재 : 한국에너지기술연구원 재직 중

<관심분야>

operation of power distribution systems, dispersed storage, generation systems and power quality.

노 대 석(Daeseok Rho)

[종신회원]



- 1985년 2월 : 고려대학교 전기공학과 졸업,
- 1987년 2월 : 동 대학원 졸업(석사),
- 1997년 3월 : 일본 북해도대학교 대학원 졸업(박사)
- 1987년 3월 ~ 1998년 8월 : 한국전기연구소 연구원/선임연구원,
- 1999년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기전자통신공학부 교수

<관심분야>

전력/배전계통, 분산전원, 전력품질 해석, 전기저장장치

김 대 진(Dae-Jin Kim)

[정회원]



- 2007년 2월 : 서울과학기술대학교 기계설계자동화공학과 졸업.
- 2009년 8월 : 동 대학원 메카트로닉스공학과 졸업(석사).
- 2009년 8월 ~ 2014년 6월 : 대우조선해양 풍력연구소.
- 2010년 6월 ~ 2013년 12월 : 독일 DeWind 풍력제어시스템.
- 2014년 7월 ~ 현재 : 한국에너지기술연구원 연구원 재직 중.

<관심분야>

control system design and Power-Hardware-In-Loop Simulator.

고 희 상(Hee-Sang Ko)

[정회원]



- 1996년 2월 : 제주대학교 전기공학과 졸업.
- 2000년 2월 : Pennsylvania State 대학원 전기공학과 졸업(석사).
- 2006년 12월 : Univ. of British Columbia 대학원 전기컴퓨터공학과 졸업(박사).
- 2006년 12월 ~ 2007년 7월 : 캐나다 PowerTech Lab. 연구원.
- 2008년 3월 ~ 2013년 3월 : 삼성중공업 풍력발전사업부 파트장.
- 2013년 4월 ~ 현재 : 한국에너지기술연구원 연구원 재직 중.

<관심분야>

microgrid, distribution network, power systems stability, control design, and system identification.