

무선충전 전기자동차 전력공급장치에서의 지락사고 특성 분석

(Analysis about the Earth Fault Characteristics in the Wireless Power Transmission System of the Electric Vehicle)

정진수* · 한운기 · 박찬업 · 송영상 · 임현성 · 조민호 · 유지연

(Jin-Soo Jung · Woon-Ki Han · Chan-Um Park · Young-Sang Song · Hyun-Sung Lim · Min-Ho Cho · Ji-Yun Lyu)

Abstract

In this paper, the risk of electric shock is analyzed through analysis for characterization of potential distribution analysis and ground fault current analysis near the area where there are occurred a ground fault at electric vehicle wireless charging system using 20kHz.

Studies for electric vehicle wireless charging system are in the works for development of efficiency increase, pickup shape design and communication module as a fundamental research step. But the research related to electrical safety and is still scarce state so that more studies are necessary to commercialize.

As a result of analysis, it is verified that induced voltage is arisen more up to 45V near the a area of accident during ground fault and fault current has been maintained continuously without clearing fault condition by operating characteristics for circuit breaker and inverter.

Key Words : Electrical Safety, High Power Wireless Power Transform System, Ground Fault, Fault Current, Induced Voltage

1. 서 론

지구 온난화 영향으로 생태계가 변화하고 있으며, 이에 대응하기 위해 전 세계적으로 온실가스를 감축하기 위한 노력이 강화되고 있다. 2009년 12월 덴마크 코펜하겐 제15차 「기후변화협약」 총회에서 국가별

CO₂ 배출 감소를 위한 목표치를 설정하였다. 이 회의에서 우리나라는 2020년까지 현재 추세 배출치의 30%(2005년 대비 4%) 감축목표를 제시하고 GDP의 2%를 녹색기술 개발과 인프라 구축에 투입할 계획을 수립하였다.

이와 같은 녹색기술 개발과 인프라 구축과 관련된 연구 중 전력 산업 분야에서는 친환경 에너지원의 비중 증가 및 에너지 저장장치의 적극적인 활용을 대안으로 수립하여 활발한 연구를 진행하고 있다. 대응방안 중 수송체계인 친환경 자동차는 전기에너지의 효율적 활용을 가능하게 하며 오염물질의 배출을 완화

* 주저자 : 한국전기안전공사 전기안전연구원
* Main author : KESCO ESRI
Tel : 063-716-2881, Fax : 063-716-9664
E-mail : mirmir0822@kesco.or.kr
접수일자 : 2014년 7월 7일
1차심사 : 2014년 7월 12일, 2차심사 : 2014년 10월 1일
심사완료 : 2014년 10월 7일

할 수 있다는 점에서 주목받고 있으며 전기자동차 개발에 많은 연구가 진행되고 있다. 그러나 전기자동차의 가장 큰 문제점으로 대두되고 있는 배터리의 무게 감소 및 효율 증가에 대한 연구가 미진하여 아직까지 전기자동차에 대한 수요가 많지 않은 상태이다. 이를 해결하기 위한 하나의 방법으로 고주파(20kHz)를 이용하여 도로 주행 중 충전이 가능한 무선충전 방식의 전기자동차 개발이 진행되고 있다[1-2]. 그러나 국내 전기설비의 경우 대부분이 60Hz에서 운영되고 있어 20kHz를 사용하는 대전력 무선충전 전기설비의 경우 국내·외에서 아직까지 연구가 진행되지 않아 실제 산업에 본 전기설비가 시공되어 운영될 경우 큰 혼란이 발생할 우려가 있다. 한 예로 인체감전의 경우 전원의 주파수가 증가함에 따라 인체의 임피던스는 감소를 하고 도체의 임피던스는 증가를 하는 특징을 가지고 있다. 그러나 접촉전압의 경우 주파수가 증가함에 따라 감소를 하며 일정 주파수 이상이 되면 다시 증가를 하는 현상을 나타내게 된다. 이와 같은 전체적인 측면에서 아직까지 해석이 이루어지지 않아 아무런 검증 없이 실제 현장에 60Hz에 대한 해석부분을 20kHz에 바로 적용하게 되면 설비사고 및 감전위험이 상존하게 된다.

본 논문에서는 무선충전 전력설비에서 지락사고 발생 시 전기재해예방을 위한 접지시스템 및 보호방안을 제안하였다.

2. 본 론

2.1 무선충전 전력설비 구성

최근 IEC 60364의 도입으로 국내 저압 전기설비는 기존 독립 접지방식에서 TN 접지방식으로 변화를 하고 있다[3]. 독립 접지방식은 기기외함을 독립적으로 접지하는 방식으로 지락사고 발생시 사고 전류를 제한하는 방식으로 차단기에 문제가 발생할 경우 인체감전의 위험성을 항상 내포하고 있어 불특정 다수가 사용하는 무선충전 전기자동차 전력공급장치에는 등전위 시공을 통해 감전의 위험성을 감소시키는 TN 접지방식을 그림 1과 같이 제안하였다[4].

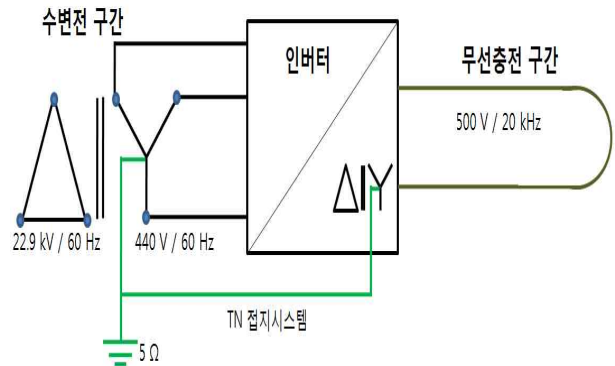


그림 1. 접지계통 구성도
Fig. 1. Earth system configuration diagram

그림 1에서와 같이 수배전반 전압은 22.9kV / 440V, 60Hz의 전력을 공급받으며 변압기 결선 방식은 Δ -Y 3상 4선식을 사용하였다. 또한 중성점의 접지저항은 5 Ω 으로 시설하였다. 인버터의 경우 인버터 외함접지는 보호도체에 연결하여 등전위 시공을 하였으며 인버터 내부변압기 2차측은 수변전반 변압기 접지선과 공통으로 체결하였다. 이와 같은 접지방식은 사고전류가 큰 특징을 가지고 있어 차단기 동작을 위한 충분한 사고전류를 확보할 수 있다. 또한, 등전위 시공을 통해 불특정 다수의 감전위험성을 감소시킬 수 있다. 무선충전구간은 인버터를 통해 변환된 20kHz, 550V의 전력을 무선충전 구간으로 공급하도록 설계되어 있다.

이때 인버터 내부는 무선충전 시 무선충전구간(급전구간)과 무선충전 전기자동차 하단의 집전장치 상호간 효율을 향상시키기 위해 커패시턴스(C)를 이용하여 효율을 극대화하였다.

2.2 실험방법

본 논문에서는 무선충전 전력설비 운전 중 지락사고가 발생할 경우에 대한 특징을 분석하기위해 60kW로 전력을 공급하는 상태에서 그림 2와 같이 인버터 2차측(이하 지락사고 1)과 무선충전구간(이하 지락사고 2)에서 보호도체구간(지락사고 1-2 지점)으로 지락사고를 발생시켰다.

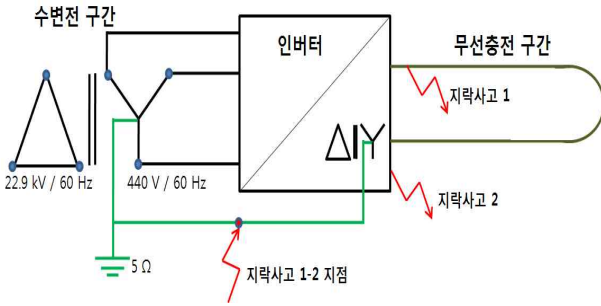


그림 2. 지락사고 모의도
Fig. 2. Earth fault simulation diagram

지락사고 1의 경우 인버터 내부 전력설비가 인버터 외함으로 지락사고가 발생하는 사고를 가정하여 모의 실험을 실시하였다. 사고전류는 수·배전구간 중성점 접지구간과 인버터 내부 변압기 중성점 구간으로 흘러들어가게 되며 이때 2개 구간에 흐르는 사고전류를 측정하였다. 지락사고 2는 무선충전구간에서 발생하는 지락사고를 모의하였다. 실험방법은 지락사고 1과 동일하게 수·배전구간 중성점 접지구간과 인버터 내부 변압기 중성점 구간으로 흐르는 전류의 크기를 측정하였다.

또한 지락사고가 발생할 경우 인근의 전위는 불안정하게 되어 불특정 다수는 감전 사고에 노출되는 위험한 상황에 직면하게 된다. 그림 3은 지락사고가 발생할 경우 무선충전구간 인근의 전위분포를 측정하여 버스정류장 등 불특정 다수의 감전 위험성을 분석할 수 있도록 바닥면에 50cm 거리로 상하좌우 각각에 전위측정을 위한 전극을 설치하였다.

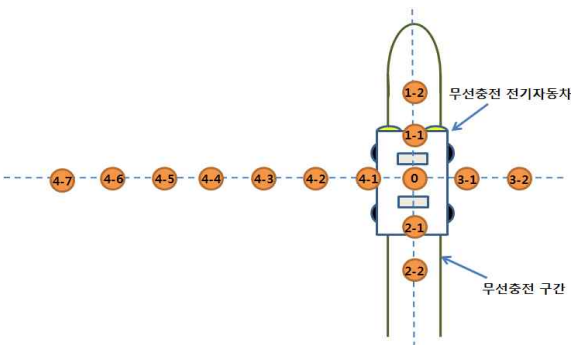


그림 3. 유도전압 측정 위치
Fig. 3. Measuring point of Induced voltage

2.3 지락사고 모의 결과

2.3.1 무선충전 구간 전위 분포

60kW로 충전되고 있는 무선충전 시스템의 유도전위에 대한 측정결과 정상상태에서 최고 12V로 측정되어 이전 연구를 통해 도출된 20kHz에서의 접촉한계전압 35V 이내에 분포하여 매우 안전한 것으로 나타났다. 그러나 인버터 2차측에 지락사고가 발생할 경우 유도전위가 35V 이상으로 상승을 하며 무선충전구간에서 지락사고가 발생할 경우 최고 45V 이상 측정되어 불특정 다수에 대한 감전위험성이 상존하는 것으로 확인되었다. 그림 4는 정상상태에서의 전위분포 측정결과를 나타내었으며 그림 5에서는 인버터에서 지락사고 발생시 전위분포 측정결과를 나타내었고 그림 6에서는 무선충전구간에서 지락사고 발생시 전위분포 측정 결과를 나타내었다.

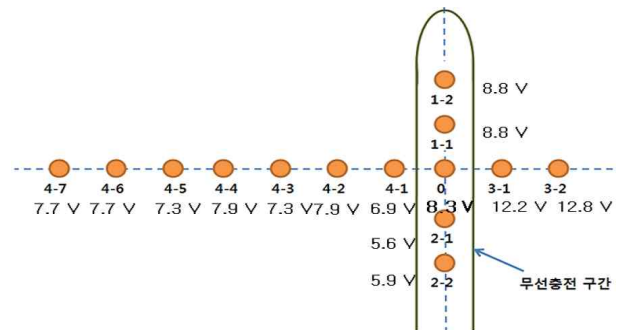


그림 4. 유도전압 측정결과(지락사고 전)
Fig. 4. Induced voltage measuring result (before the fault)

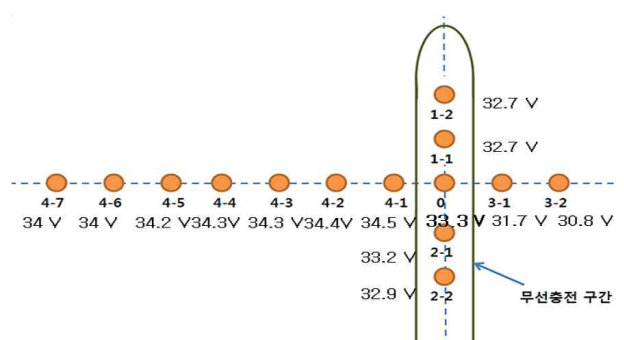


그림 5. 유도전압 측정결과(C뱅크 이전 구간 지락사고)
Fig. 5. Under ground fault induced voltage measuring result (front of the C bank)

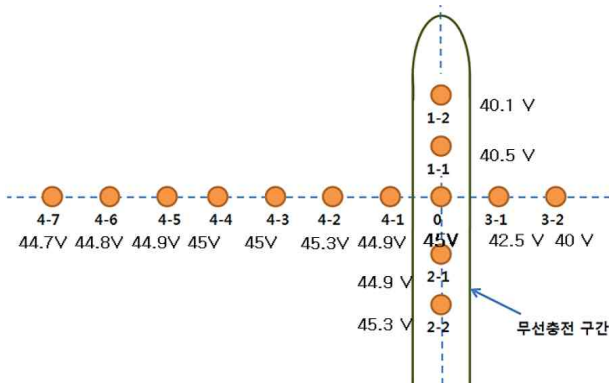


그림 6. 유도전압 측정결과(C 뱅크 이후 구간 지락사고)
 Fig. 6. Under ground fault induced voltage measuring result(behind of the C bank)

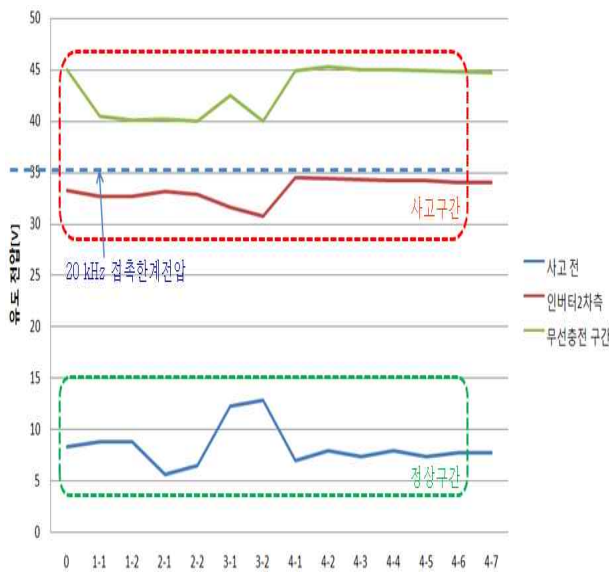


그림 7. 지락사고 발생 시 유도전압 측정 결과
 Fig. 7. Induced Voltage measuring result by earth fault

그림 7에서와 같이 지락사고가 발생할 경우 무선충전 구간은 인체감전 위험성을 내포하게 된다. 이와 같은 감전 사고를 예방하기 위해 무선충전 구간에 접지시스템을 구축하여 지락사고 발생 시 사고전류의 인근으로 과급되는 것을 억제해야 한다[4].

2.3.2 사고전류 측정 결과

본 설비에 대해 지락사고를 모의한 결과 지락사고 1의 경우 최대 35A의 사고전류가 발생하였으며 지락사

고 2의 경우 최대 160A의 사고전류가 발생을 하였다. 일반적인 TN접지방식의 경우 수 kA~수십 kA의 사고전류가 발생 하지만 본 시스템의 경우 인버터가 사고전류를 강제적으로 제한하여 사고전류는 200A를 초과하지 않는 것으로 나타났다. 또한 무선충전 구간에서 발생한 지락사고는 인버터 2차측에서 발생한 지락사고에 비해 100A 이상 사고전류가 큰 것으로 나타났는데 이는 커패시턴스(C)성분에 의한 것으로 판단된다. 표 1은 사고전류 측정결과를 나타내었다.

표 1. 지락사고 발생시 사고전류 측정결과
 Table 1. Earth fault current measuring result

| | 지락사고 발생전 | | 지락사고 발생시 | | | |
|-----------|----------|-----|----------|-----|---------|-----|
| | | | 인버터2차측 | | 무선충전 구간 | |
| | 수·배 전구간 | 인버터 | 수·배 전구간 | 인버터 | 수·배 전구간 | 인버터 |
| 사고 전류 (A) | 1.3 | 1.1 | 33.5 | 2.7 | 149.5 | 5.3 |

3. 결 론

본 논문은 20kHz를 사용하여 대전력 무선충전 전력 설비에 대해 지락사고가 발생할 경우 보호방안을 제시하기 위해 실험을 실시하였다. 실험결과 지락사고 발생 시 무선충전 인근에 접촉한계전압보다 높은 전위가 형성되는 것으로 나타나 무선충전 설비 주위에 설딩을 통해 전위를 감소시킬 필요가 있으며 지락사고 전류의 경우 약 200A 이하로 측정되어 기존 차단기류를 이용할 경우 지락사고 발생 시 차단기 오동작의 문제가 있다. 이를 해결하기 위해 접지시스템에 CT를 설치하여 상시적으로 사고전류를 모니터링 할 필요가 있을 것으로 판단된다. 또한, TN 접지시스템으로 구성된 본 접지시스템의 경우 전력계통 접지부의 지락사고 감도 전류는 10A 이상으로 설정하는 것이 합리적일 것으로 판단된다.

본 실험결과는 향후 무선충전 전기자동차 상용화시 인체 및 전기설비 보호를 위한 시설기준 개발에 활용이 가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2014년도 한국산업기술평가관리원의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

References

- [1] KAIST, "Development of the Source Technology about On Line electrical Vehicle", KETEP, 2009.7.
- [2] KAIST, "Complement and optimization of performance in power supply and pickup system", KAIA, 2012.10.
- [3] ESRI, "A Study on the most Suitable Protective Conductor Site Application for the Prevention of an Electric Shock in Industry Site", KETEP, 2009.10.
- [4] Jin-Soo Jung, Woon-Gi Han, Chan-Urm Park, Young-Sang Song, Hyun-Sung Lim, "Study to Analyze the Grounding System in the 20kHz Power Installation", KIEE, Vol.62, No. 9, pp. 1308~1212, 2013.09.
- [5] Jin-Soo Jung, Woon-Gi Han, Hyun-Wook Moon, Chan-Urm Park, "Analysis of Electrical Shock on 20kHz Electrical Utility", KIEE Spring Conference, pp. 261~263, 2012.4.
- [6] MOTIE, "Criteria of Electrical Equipment Technical Standards", 2010.01.
- [7] Jin-Soo Jung, Sun-Gu Kim, Jong-Wook Jung, Woon-Ki Han, "Study about the Inspection Method of Electrical Installation by IEC 60364", KIEE Spring Conference, pp. 2175~2176, 2010.06.
- [8] Jin-Soo Jung, Woon-Ki Han, Jae-Chul Kim, "The Comparison and Analysis about Earth System based on IEC60364", KIEE, Vol. 24, No. 1, pp. 56~62, 2010.01.

◇ 저자소개 ◇



정진수(鄭鎭洙)

1976년 9월 12일생. 2003년 명지대학교 전기공학과 졸업. 2005년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 2011년 동대학원 전기공학과 졸업(박사). 2004년~현재 한국전기안전공사 전기안전연구원 미래기술연구팀 선임연구원.



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.



박찬엄(朴燦嚴)

1977년 5월 8일생. 2001년 2월 강원대학교 삼척캠퍼스 제어계측공학과 졸업. 2003년 2월 중앙대학교 일반대학원 전자전기공학부 졸업(석사). 2007년 2월 동대학원 전자전기공학부 졸업(박사). 2007년 3월~2009년 2월 중앙대학교 정보통신연구원 연구교수. 2009년 3월~현재 한국전기안전공사 전기안전연구원 미래기술연구팀 주임연구원.



송영상(宋英上)

1981년 4월 27일생. 2006년 전남대학교 전기공학과 졸업. 2012년~현재 서울과학기술대학교 전기공학과 재학중. 2006년 5월~현재 한국전기안전공사 전기안전연구원 미래기술연구팀 주임연구원.



임현성(林炫成)

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



조민호(趙致鎬)

1970년 4월 25일생. 1995년 전북대학교 산업공학과 졸업. 1998년 전북대학교 산업공학과 졸업(석사). 2007년 전북대학교 기계공학과 졸업(박사). 2012년~현재 전북테크노파크 정책기획단 선임연구원.



유지연(劉芝妍)

1979년 11월 14일생. 2003년 전북대학교 지구환경과학과 졸업. 2005년 전북대학교 토목공학과 졸업(석사). 2008년 3월~현재 전북테크노파크 정책기획단 지역산업기획팀 주임연구원.