

무선전력전송 시스템의 모니터링 시스템 구축에 관한 연구

(A Study on Installation of Monitoring System of Wireless Power Transmission System)

송영상* · 한운기 · 정진수 · 임현성 · 조성구

(Young-Sang Song · Woon-Ki Han · Jin-Soo Jung · Hyun-Sung Lim · Sung-Koo Cho)

Abstract

The electrical safety and efficiency is the most important thing of the electric vehicle charging system. The prior system is contact charging system that is contacted directly by human. So, it has riskiness such as electric shock in the case of poor insulation or contact problems. To solve these safety issues and the convenience problems, a wireless power transmission system has been developed and is currently in trial operation. However, because high frequency is used in wireless power transmission system instead of commercial frequency, we need to apply protection measures concerning electric shock and equipment protection. Also, it should be accompanied by measuring efficiency for the effective operation of the wireless power transmission system. Therefore, we structured monitoring system in trial operation area of wireless power transmission system and applied decision algorithm for protection of human and equipment and economic operation of it.

Key Words : Monitoring System, Wireless Power Transmission System, Electrical Safety, Efficiency

1. 서 론

최근 전기자동차의 접촉식 충전설비에서 발생할 수 있는 감전사고와 편의성, 경제성 문제점을 해결하기 위하여 무선전력전송 시스템에 관한 연구가 활발하게 진행 중에 있다. 특히 2013년에는 시범 운행 지역이 선정되어 무선전력전송을 이용한 무선 충전 버스가 운행되었다. 현재 국내에서 사용되는 무선전력전송 시스템은 전력 송전부와 수신부의 공진을 이용한 기

술로써 국내 상용주파수 60Hz가 아닌 20kHz를 사용한다[1]. 무선전력전송을 이용한 충전 시스템은 기존의 시스템과 달리 충전시 인체가 전기시설물에 직접 접촉하지 않기 때문에 인체 감전의 위험성이 적다. 그러나 전기자동차의 충전시설의 경우 불특정 다수가 통행하는 일반 도로에 설치되는 경우가 많을 것으로 예상되기 때문에 인체와 설비에 대한 보호시설을 강화할 필요성이 있다. 또한 상용주파수가 아닌 20kHz의 고주파를 이용하기 때문에 주변 케이블 및 철골물에 미치는 주변에 미치는 문제점을 예방하기 위해 접지극 선정시에도 재질을 고려할 필요성이 있다[2]. 지락과 같은 사고 발생 시에도 20kHz 고주파로 전력을 변환하는 부분에서 지락사고 발생시 사고전류 크기가

* Main author : KESCO Electrical Safety Research Institute

Tel : 063-716-9882, Fax : 063-716-9664

E-mail : ssong04@kesco.or.kr

Received : 2014. 9. 17

Accepted : 2015. 3. 11

작기 때문에 지락보호에 대한 검토가 필요하다[3]. 따라서 20kHz를 사용하는 무선전력전송시스템 사용 중 인체 감전과 설비보호를 위하여 무선전력전송 시스템을 모니터링 할 필요성이 있다. 모니터링 시스템 구축시 전기적 안전사항을 확인할 수 있을 뿐만 아니라 무선전력전송시스템의 효율 측정을 통한 경제성 분석이 가능하다. 이에 따라 본 논문에서는 시범 운행되었던 무선전력전송 시스템에 실제로 모니터링 시스템을 구축한 사항과 보호 기준 설정에 대하여 검토하였다.

2. 무선전력전송 시스템의 모니터링 시스템

2.1 모니터링 시스템 구축

고주파 무선전력 전송 시스템은 상용 주파수 전원을 전력 변환 장치로 고주파 전원으로 변환하여 무선 충전 버스에 전력을 공급하는 시스템이다. 무선전력전송 시스템의 구성은 전력공급부, 전력변환부, 전력수전부로 나눌 수 있으며 그림 1과 같이 무선전력전송 시스템 외의 주변 비충전 도전성부분도 모니터링하였다. 또한 충전소가 여러 곳이기 때문에 그림 2와 같이 각각 충전개소에 모니터링 시스템을 구축하여 통합 관리 시스템을 구축하였다.

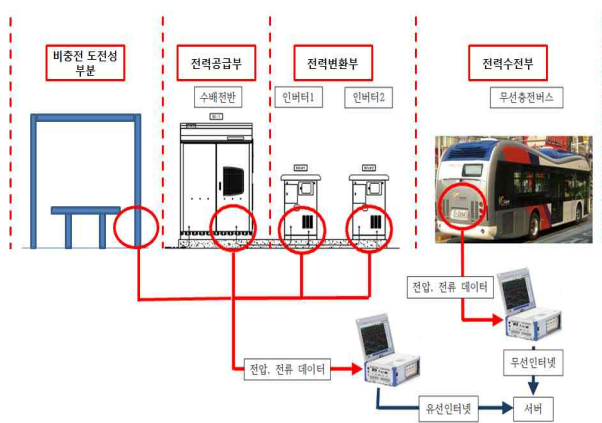


그림 1. 무선전력 전송 시스템의 모니터링 시스템 구성
Fig. 1. Configuration of Monitoring System of Wireless Power Transmission

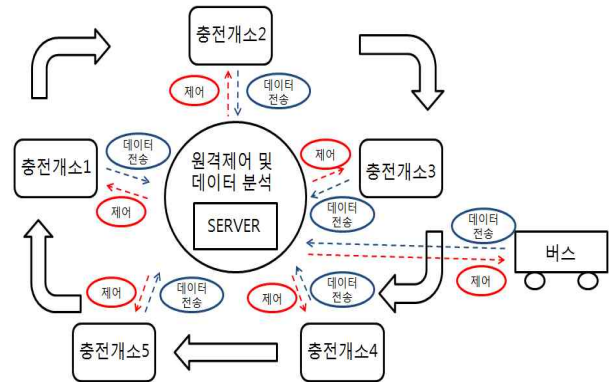


그림 2. 각 충전개소의 원격 모니터링 시스템
Fig. 2. Remote Monitoring system of Each Charging Place

무선충전시스템의 사양은 데이터측정장치의 경우 CPU는 20kHz의 주파수 성분 데이터를 안정적으로 취득하기 위하여 Intel QuadCore i7-620M 2.66GHz를 사용하였으며 RAM은 4GB를 사용하였다. 가장 높은 전압이 인가되는 무선충전버스의 전압은 약 650V이며 측정 장비의 전압 입력 최대값은 최대 1,400V이기 때문에 변압을 하지 않고 전압을 측정하였다. 전류 측정의 경우 무선충전버스의 전류값은 최대 약 125A이었으나 순시값의 경우 600A이상의 값이 측정되어 변류기 보호 및 정확한 측정을 위해 최대 700A까지 측정이 가능한 센서를 사용하였다. 전력공급부와 전력 변환부의 경우 측정되는 전류값이 최대 약 155A이었으며 순시값에 대한 오류가 발생하지 않아 최대 500A까지 측정이 가능한 센서를 사용하였다.

2.2 전력공급부 모니터링 및 온도조절

2.2.1 모니터링 장비 설치 및 전압, 전류 측정

무선 전력전송 시스템의 효율과 전력품질을 측정하기 위해 전압, 전류를 측정하였다. 그림 3과 같이 모니터링 장비를 설치하고 전압, 전류를 측정하였다. 전압, 전류 데이터를 얻기 위해 연결한 케이블은 차폐케이블을 사용하였으며 차폐층을 접지하여 노이즈를 최소화하였다. 데이터 전송은 0.2초 간격으로 실효값 데이터를 전송하였다.

2.3 전력변환부 모니터링

2.3.1 전압, 전류 및 누설전류 측정

전력 변환부의 변환효율을 측정하기 위하여 전력 변환부의 전력량을 측정하였다. 그림 5와 같이 전압데이터와 전류데이터를 측정하여 전력량을 계산하였다. 무선충전시스템의 지락 전류가 모의 지락사고를 통해 측정된 결과 사고전류가 200A를 초과하지 않았기 때문에 차단기로 보호하기에 문제가 발생한다[3]. 따라서 지락사고를 검출하기 위해 평상시 누설전류를 고려하여 알람이 발생하도록 그림 6과 같이 고주파 변압기 중성점에 연결된 접지선에 변류기를 시설하였다. 모의실험에 의해 인버터 내부의 평상시 측정되는 누설전류는 약 2.7A이었으나 실제 시범 운행 지역의 접지방식과 달리 TN-C 시스템에서 실험하였기 때문에

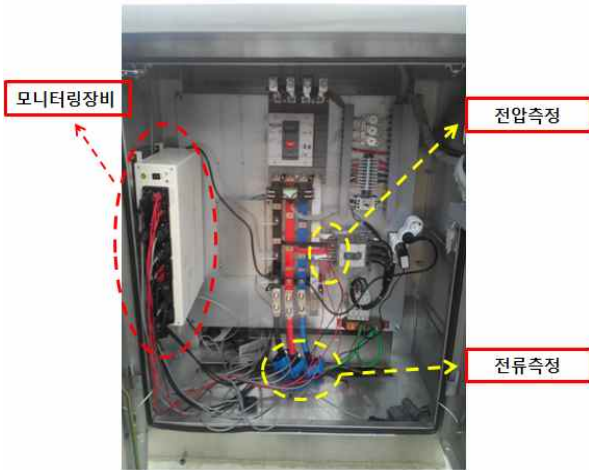


그림 3. 전력공급부 전압, 전류 측정 및 모니터링 장비 설치
Fig. 3. Voltage, Current Measurement of Power Production Part and Installation of Monitoring Equipment

2.2.2 전력공급부 온도 조절 장비 설치

모니터링 장비는 일정 온도 범위를 벗어나면 오 동작하거나 정지할 가능성이 있다. 또한 수배전반 외부 온도와 내부 온도의 차이가 큰 경우 결로 현상으로 인한 장비 손상 및 누전이 발생할 수 있기 때문에 그림 4와 같이 수배전반 내부 온도조절장치를 설치하였다. 온도조절장치는 냉각장치와 난방장치를 시설하였으며 온도 범위가 10℃~32℃가 아닌 경우 동작하여 일정범위의 온도를 유지하도록 하였다.



그림 4. 수배전반 내부 냉각 및 난방 장치
Fig. 4. Cooling Device and Heating Device of Power Production Part



그림 5. 전력변환부 전압, 전류 측정
Fig. 5. Voltage, Current Measurement of Power Conversion Part



그림 6. 전력변환부 누설전류 측정
Fig. 6. Leakage Current Measurement of Power Conversion Part

충전 및 평상시 고주파 변압기 증성선에 흐르는 전류를 고려하여 5A 이상 전류가 흐를 경우 알람을 발생하도록 하였다.

2.3.2 수위 측정

전력공급부와 전력변환부의 경우 지중 배선작업을 위하여 토목공사를 하였고 도로면보다 낮은 부분이 있기 때문에 침수의 위험성이 있다. 또한 일반인이 주로 왕래하는 도로변에 무선전력전송시스템이 설치되어 있기 때문에 인체 및 설비 보호를 위해 그림 7과 같이 수위 모니터링을 위한 센서를 설치하였다. 현장에 설치한 수위센서는 초음파 수위센서로써 초음파 신호를 바닥에 전송하여 현재 지표면과 센서 사이의 거리를 기준으로 하여 침수시 감소한 거리를 측정하여 수위를 모니터링 하는 원리를 이용한다. 바닥의 수위가 약 5cm정도 되면 모니터링 시스템에서 알람이 발생하도록 설치하였다.



그림 7. 전력변환부 수위센서 설치
Fig. 7. Water Level Sensor Installation of Power Conversion Part

2.4 전력수전부 모니터링

2.4.1 전압, 전류 측정

전력수전부의 전력량을 측정하기 위하여 버스의 전압, 전류를 측정하였다. 무선충전버스 내부 전력량 측정 위치는 IEC 61980 초안을 인용하여 그림 8과 같이 레귤레이터 후단에 설치하였다. 레귤레이터는 교류로 전송된 전력을 직류로 변환하여 배터리에 공급하는 장치이다. 초기에 사용한 변류기 용량은 무선충전버

스에 전류값을 고려하여 400A 용량의 변류기를 사용하였으나 충전 중 데이터가 측정되지 않는 경우가 발생하였다. 데이터 측정 오류 문제점을 해결하기 위해 순시값을 측정한 결과 최대 순시값이 약 600A이상 측정되었다. 이에 따라 정격용량 700A의 변류기를 사용하여 데이터를 안정적으로 측정하였다.



그림 8. 전력수전부 계측 장비 설치
Fig. 8. Measurement Equipment Installation of Power Receiving Part

2.4.2 GPS 데이터 측정

무선충전버스 2대가 운영되었기 때문에 무선충전버스 위치에 전력수전부의 GPS 데이터를 취득하여 전력공급부의 데이터와 비교할 필요성이 있었다. GPS 데이터를 이용하여 전력공급부와 전력수전부의 데이터를 비교하였을 뿐만 아니라 무선충전버스 속도 변화에 따른 효율 변화 측정도 가능하였다.

2.5 데이터 분석 프로그램 및 동기화 방법

2.5.1 데이터 분석 프로그램

여러 개소에 설치된 무선전력전송시스템의 데이터를 분석하기 위하여 데이터 동기화가 필요했다. 이에 따라 수신된 데이터를 데이터베이스화하여 분석할 수 있는 PMT(Power Monitoring Tool) 프로그램을 사용하였다. PMT 프로그램은 여러 개의 풍력발전설비 데이터를 분석할 때 유용한 프로그램이다. 내부설정으로 1초마다 평균 데이터를 전송받을 수 있으나 20kHz의 성분을 측정하는데 데이터 손실 및 시간동기화 문제점이 발생하였다. 이에 따라 2초씩 평균 데이터를

전송함으로써 문제점을 해결하였다.

2.5.2 데이터 동기화 방법

효율 데이터를 분석하기 위하여 여러 개소의 데이터를 시간 동기화가 필요하다. 첫 번째 동기화 방법으로 앞서 언급한 GPS를 설치하여 전력공급부와 전력수전부의 데이터를 동기화하였다. GPS를 이용한 방법은 20kHz의 데이터를 측정시 장비과부하가 아닌 경우 데이터 손실 및 시간 지연 문제가 발생하는 경우가 없었다. 두 번째 동기화 방법으로 전력공급부의 데이터와 전력수전부 데이터가 동시에 수신되어 있을 때 시간을 검출하는 것을 프로그램화하여 데이터 동기화를 진행하였다. 그러나 버스가 2대 이상 운행시 버스 충전시간이 겹치는 경우 공급전력 데이터가 2개 이상 전송되는 문제점이 발생하였다. 또한 무선충전시 차량의 속도에 따라서 공급전력이 수급전력보다 몇 초 앞서 공급되었는데 공급전력량 크기에 이 부분의 데이터가 누락되는 문제점이 발생하였다. 그러나 긴 시간의 누적 효율의 경우 작은 데이터가 크게 영향을 미치지 않았기 때문에 기상상태에 따른 효율 분석과 같은 추이 분석에 경우 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

2.5.3 시간 동기화 방법

여러 개소의 데이터를 실시간으로 분석하기 위하여 각 장비의 시간 동기화를 진행하였다. 이를 위하여 모 연구원에서 개발한 시간동기화 프로그램을 사용하였다. 이 프로그램을 이용하여 실시간으로 장비의 시간이 표준 시간 대비 얼마나 차이가 나는지를 알 수 있었다. 그러나 통신이 불안정한 경우나 장비가 과부하가 걸렸을 경우에 장비간의 시간 동기화에 문제점이 발생하였다.

장비의 시간을 동기화할 수 있는 방법으로 프로그램 이용이 아닌 장비의 시간을 일률적으로 조정하는 방법을 사용하였다. 이 방법 역시 장비가 과부하되어 오류가 발생하지 않는다는 전제로 실시하였다. 그러나 20kHz의 데이터를 장시간 모니터링한 경우 시간 동기화 프로그램을 이용한 경우보다 시간 지연과 같은 오류가 더 많이 발생하였다. 따라서 시간동기화를 위하여 안정적인 통신시스템을 구축하고 장비 사양을 상

향하여 시간동기화 프로그램을 사용할 필요성이 있다고 판단된다.

3. 모니터링 시스템 양부 판단 기준

3.1 적정 효율 판단 기준

무선전력전송 효율 측정 지점은 IEC 61980-1 초안을 근거로 하여 그림 9와 같이 측정하였다. 무선충전 버스의 운행조건은 주행 중 충전시간 약 2~3분을 포함하여 총 충전시간이 약 30분이며 주행 중 충전시 속도는 20km/h 이하를 유지하였다. SOC(State of Charge)의 상태는 약 70~80% 수준에서 측정하였다. 효율을 측정한 결과 누적 효율 측정시 정차 중 효율은 약 80%로 측정되었으며 주행 중 효율 역시 70%이상 측정되어 전체 효율은 75% 이상 측정되었다. 이를 통하여 효율이 75% 미만인 경우 알람이 발생하도록 하였다.

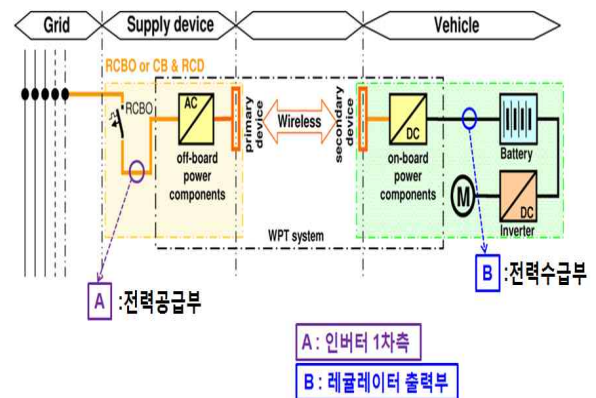


그림 9. 무선전력전송 시스템 효율 측정 포인트
Fig. 9. Measurement Point for Efficiency of Wireless Power Transmission Monitoring System

3.2 전기적 안전사항 판단 기준

무선전력전송시스템 안정적 운영 상태와 주변의 전기적 안전사항을 실시간으로 모니터링하기 위하여 전압변동과 왜형률, 누설전류, 전압상승, 역률 등을 측정하였다. 장비가 안정적으로 운영되기 위하여 전압은

중요한 요소이기 때문에 전압변동 및 고조파를 모니터링 하였다. 이상 유무 판단하는 기준은 국제규격인 IEC 60038을 참고하여 전압 10% 이상 변동시 알람이 발생하도록 적용하였다[4]. 또한 고조파의 경우 IEEE 519-1992를 참고하여 전압 THD와 전류 TDD가 5% 이상일 경우 알람이 발생하도록 하였다[5]. 전력변환부의 누설전류 기준은 평상시 누설전류에 오동작하는 문제점 예방을 위하여 누설전류가 5A 이상일 경우 알람이 발생하도록 하였다. 또한 무선충전시스템 주변 철골물의 전위상승에 의한 감전사고를 예방하기 위하여 주변 철골과 1m 이격된 지점의 전위가 35V이상일 경우 알람이 발생하도록 하였다. 20kHz에서의 인체 허용접촉전압은 35V인 점을 근거로 하였다[6]. 역률의 경우는 한전배전규정을 기준으로 90%미만일시 알람이 발생하도록 하였다[7]. 무선전력전송시스템의 전기적 안전사항에 관한 판단 기준은 표 1과 같다.

표 1. 무선전력전송시스템 전기적 안전사항 판단 기준
Table 1. Electrical Safety Judgment Standard of Wireless Power Transmission Monitoring System

모니터링 항목	판단기준
전압THD	5% 미만
전류TDD	5% 미만
전압변동률	±10% 이하
누설전류	5A 이하
주변철골물 전위상승	35V 미만
역률	90% 이상

4. 프로그램 GUI 재구성

무선충전시스템에서 원격 모니터링 시스템으로 전송된 데이터를 그림 10과 같이 실시간으로 서버에 저장하였다. 원격 모니터링 프로그램의 GUI(Graphic User Interface)를 일반 관리자가 조작하기 편하도록 그림 11과 그림 12와 같이 재구성하였다. 효율 및 전기적 안전사항 이상 발생시 알람이 발생하도록 하였고 일정기간 데이터를 디스플레이 함으로써 추이 분석이 가능하도록 하였다.

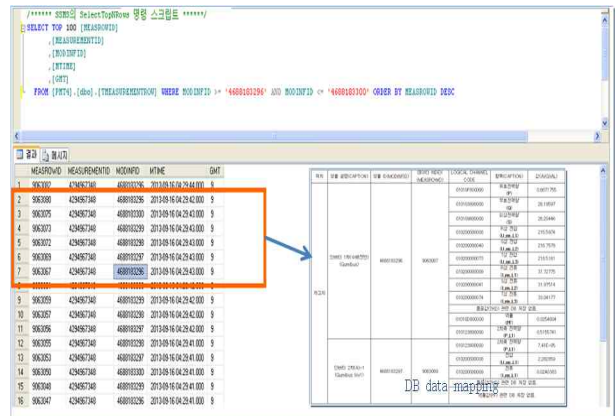


그림 10. 각 충전개소의 실시간 데이터
Fig. 10. Real Time Data of Each Charging Place

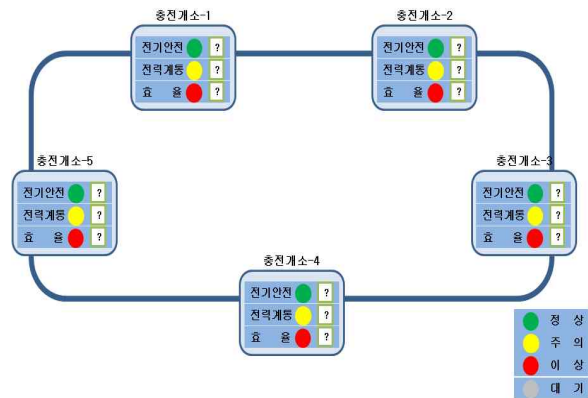


그림 11. 각 충전개소의 통합 모니터링 GUI 구현
Fig. 11. Integrated Monitoring GUI Implementation of Each Charging Place



그림 12. 추이 분석이 가능한 프로그램 구현
Fig. 12. Program Implementation available to Trend Analysis

5. 결 론

무선 전력 전송은 기존의 상용주파수가 아닌 20kHz의 고주파수를 이용하기 때문에 기존 보호 방식 이외에 지락전류 검출 및 주변 철골물 전위 상승 등을 모니터링 할 필요성이 있다. 무선충전시스템 모니터링 시스템 구축시 고려해야 할 사항으로 다음과 같은 사항이 있다.

- (1) 지락시 사고전류가 크지 않기 때문에 지락 전류 감지를 위해 상시 누설전류를 측정할 필요성이 있다.
- (2) 통합 모니터링을 위해 데이터 동기화 및 시간 동기화가 필요하며 안정적인 통신시스템을 구축할 필요성이 있다.
- (3) 장비의 안정적인 운영 및 보호를 위해 내부 온도 조절장치 및 수위센서를 설치할 필요성이 있다.
- (4) 국제 규정과 국내 규정을 만족하도록 모니터링 시스템 알람조건을 설정할 필요성이 있다.

본 연구를 통해 개발된 무선 전력 전송 모니터링 시스템은 향후 대전력 무선 전력 전송 시스템 상용화 및 안전성 확보에 유용할 것으로 판단된다.

본 논문은 한국조명·전기설비학회 2014년도 춘계학술대회에서 발표하고 우수추천논문으로 선정된 논문임.

감사의 글

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

References

- [1] KAIST, "Complement and optimization of performance in power supply and pickup system", KAIA, 2012.10.
- [2] Jin-Soo Jung, Woon-Ki Han, Chan-Um 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.
- [3] Jin-Soo Jung, Woon-Ki Han, Chan-Um Park, Young-Sang Song, Hyun-Sung Lim, Min-Ho Cho, Ji-Yun Lyu, "Analysys about the Earth Fault Characteristics in the Wireless Power Transmission System of the Electric Vehicle", KIEE, Vol. 28, No. 12. pp. 13~17. 2014.12.

- [4] IEC 60038, "IEC standard voltages", 2009.
- [5] IEEE 519(1992) "IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems".
- [6] Jin-Soo Jung, Woon-Ki Han, Hyun-Wook Moon, Chan-Urm Park, "Analysis of Electrical Shock on 20kHz Electrical Utility", KIEE Spring Conference, pp261~263, 2012.4.
- [7] Korea Electric Power Corporation, "Rules And Rates for Electric Service", 2015.01.

◇ 저자소개 ◇



송영상(宋英上)

1981년 4월 27일생. 2006년 전남대학교 전기공학과 졸업. 2015년 서울과학기술대학원 전기공학과 졸업(석사). 2006년 5월~현재 한국전기안전공사 전기안전연구원 미래기술연구팀 주임연구원.



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.



정진수(鄭鎭洙)

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



임현성(林炫成)

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



조성구(趙成九)

1983년 1월 3일생. 2009년 서울과학기술대학교 전기공학과 졸업. 2011년 서울과학기술대학원 전기공학과 졸업(석사). 2014년 8월~한국전기안전공사 전기안전연구원 미래기술연구팀 주임.