

무선 전력전달 방식 친환경 대중교통 시스템의 적합성 평가에 대한 고찰

Consideration for Conformity Assessment of Eco-friendly Public Transportation System based on the Wireless Power Transfer Technology.

신정진* · 김기현** · 이강희*** · 김한수§
(Jung-Jin Shin · Gi-Hyun Kim · Kang-Hee Lee · Han-Su Kim)

Abstract - According to the Article 4(Conformity Assessment)of the Electrotechnical Regulation, Conformity Assessment for the Electrotechnical Regulation decides conformity of Electrotechnical Regulation; whether to satisfy performances and requirements(determined from Electrotechnical Regulation). It evaluates technical requirements, new technology and standards. However, it does not evaluate technical content stated from Electrotechnical Regulation & Conformity Criteria. From Conformity Assessment, the technology will be decided whether to fulfill performances and technical requirements. Which is predetermined by contents related to Electrotechnical Regulation. Test standards and test conditions will be overlooked to determine its performances and technical requirements for safety. This paper will show that, studies have been done to determine the guideline for Conformity Assessment, which is evaluated from performances and technical requirements associated with Conformity Assessment of electrical installation for new technology of wireless power transfer.

Key Words : Conformity assessment, Electrotechnical regulation, Wireless power transfer

1. 서 론

전기사업법 제67조 및 동법 시행령 제43조와 관련한 전기설비기술기준을 WTO/TBT 및 FTA 협정 등에 따라 전기설비기술기준 선진화 및 신기술의 발전 등 급변하는 주변 환경에 능동적으로 대처하고자, 기존의 전기설비기술기준에서 규정하는 안전에 필요한 성능과 기술적 요건을 충족하는지 여부에 대한 평가를 통하여 전기설비기술기준의 적합성을 판단하는 제도가 적합성평가제도이다. 현 상황에서는 새로운 기술과 신공법 등을 현장에 반영하기 위해서 전기설비기술기준 제4조(적합성 평가)에서 규정하는 안전에 필요한 성능과 기술적 요건은 지식경제부장관의 승인을 받은 “전기설비기술기준의 판단기준”과 이 규정에 제시되고 있는 많은 기술에 대해서는 “한국전기기술기준위원회”에서 안전 확보를 위해서 충분한 기술적 근거가 있다고 인정되어 지식경제부장관의 승인을 받은 경우로 규정하고 있다. 또한 민간규격 또는 해외 규정으로서 기술기준에의 적합성이 기술적, 행정적으로 증명되고 인정되어야 하나 신기술, 신제품에 대한 기술기준에의 적합성을 만족시키기 위한 성능 조건과 기술적 요소가 발굴되어 있지 않다. 따라서 이러한 문제점을 해

결하기 위해서, 현재 진행되고 있는 “무선 전력전달 방식 친환경 대중교통 시스템 개발”의 신기술에 대한 적합성 평가를 예로 들어 적합성 평가 방안과 그에 대한 대책 및 결과 반영 방법을 도출하였다.

2. 본 론

2.1 적합성 평가시 안전에 필요한 성능과 기술적 요건

전기설비 안전관리는 설계·설치·검사의 안전 요구사항인 기술기준과 제품기준 및 적합성평가 절차와 밀접한 관련이 있다. 적합성 평가란 기술 규제 또는 표준의 관련요인이 충족되었는지를 평가하기 위해 직접적 또는 간접적으로 사용되는 모든 절차로서, 기술기준 적합성평가는 전기설비기술기준에서 정하는 요건으로 한정된다. 적합성평가는 그 객관성이 요구될 경우 「제품, 프로세스, 서비스가 특정의 요구사항에 적합하고 있는 것을 제3자가 문서로 보증하는 절차」를 인증한다. 전기용품안전인증제도는 전기용품안전 관리법에 의한 강제인증제도로 교류 50 [V] 이상 1,000 [V]이하에 사용되는 전기용품 218종을 대상으로 하고, 가용전기설비의 경우, 개발제품은 공인시험기관, 양산제품은 전기산업진흥회의 품질관리 위원회에 면제 신청, 사용전검사 시에 시험성적서를 확인하며, 사업용전기설비의 경우에는 신개발제품은 한국전기연구원 등에서 시험하고, 양산제품은 자체 검수를 인정하거나, 사용전검사 시 확인해야 한다. 다음 그림 1은 전기설비안전 관련 적합성평가 시 관련법의 관계를 설명한 그림이다.

† 교신저자, 정회원 : 대한전기협회 기술기준처 직원

E-mail : firerace@electricity.or.kr

* 정 회원 : 대한전기협회 기술기준처 팀장

** 정 회원 : 대한전기협회 기술기준처 과장

*** 정 회원 : 대한전기협회 기술기준처 처장

접수일자 : 2012년 7월 31일

최종완료 : 2012년 8월 30일

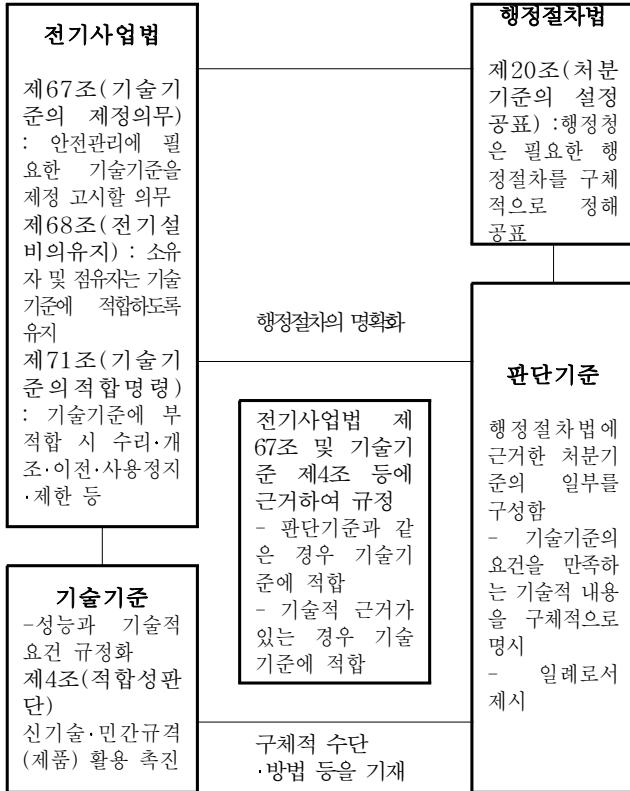


그림 1 적합성 판단 관련법의 관계
Fig. 1 Relations in law of Conformity Assessment

2.2 무선 전력전달 방식 친환경 대중교통 시스템의 원리 및 구조

최근 지구 온난화에 의한 이상기후로 인하여 풍력, 태양광, 연료전지 등 신재생에너지에 대한 관심이 고조되고 있다. 신재생에너지의 일환으로 전기자동차는 화석에너지의 고갈 및 지구온난화 문제에 관한 하나의 대안으로 개발되었다. 이러한 전기자동차 상용화의 가장 중요한 기술은 2차 전지이며, 현재 가장 주목받고 있는 배터리는 리튬 배터리이다. 하지만 한 번 충전으로 100 [km]를 주행할 수 있는 10 [kWh] 용량의 리튬 배터리의 가격이 비싸고, 무게 또한 차량의 1/3수준이다. 또한 남아있는 리튬 자원의 매장량은 세계적으로 410만 톤 밖에 안 되어 10년 안에 고갈될 거라는 전망도 전기자동차 상용화의 큰 걸림돌이다. 이러한 문제들에 대한 해법으로 무선 전력전달 방식 충전의 전기자동차를 개발하고 있다. 여러 방식이 있지만 현재 국내에서 개발하고 있는 무선 전력전달 방식의 전기자동차는 그림 2와 같이 도로면 아래에 매설된 급전선로에서 발생된 자기장을 차량 하부에 설치된 집전장치로 전달하고 이를 차량의 동력원으로 사용하는 새로운 방식의 자동차이다. 기존의 전기자동차에 비해 배터리의 용량을 1/5 수준으로 감소시킴으로써, 전기자동차의 무게와 가격을 감소시키고, 충전소 설치와 운영에 관련한 문제점을 근본적으로 해결할 수 있다는 장점을 가진다[1]. 무선 전력전송 시스템은 크게 급전선로와 집전장치 그리고 배터리로 구성되어 있으며, 구조를 살펴보면 인버터, Litz케이블로 구성된 급전선로, 집전장치, 커패시터, 배터

리 그리고 모터로 이루어져 있다. 60 [Hz]의 상용전원은 인버터를 통해 20 [kHz]주파수로 가변되고, 급전선로에 200 [A] 정도의 전류가 흐른다. 이 급전선로를 흐르는 전류에 의해 생성된 자속은 집전장치에 집중되도록 설계되었으며, 이 자속에 의해 거리 20 [cm]에서 75 [kW]의 전력이 약 83 [%]의 효율로 차량에 전달되고 차량 내부에서 변환과정을 거쳐 배터리와 모터로 공급된다[1].

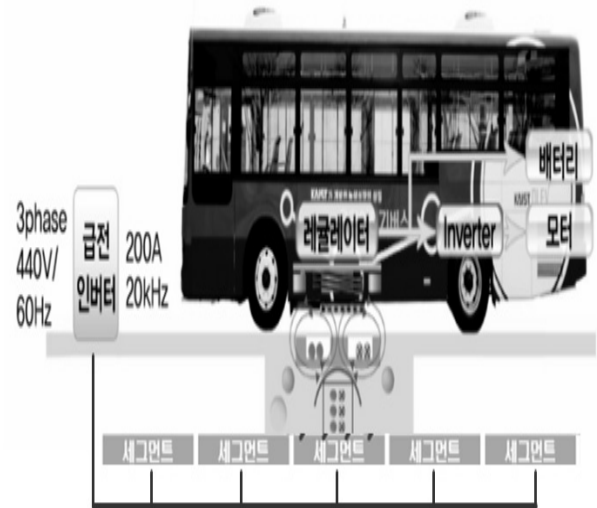


그림 2 무선 전력전달 방식의 전기자동차 전원공급 개념
Fig. 2 Concept of power source for wireless power transfer electric vehicle

2.3 무선 전력전달 방식 친환경 대중교통 시스템의 적합성 평가

무선 전력전달 방식 친환경 대중교통 시스템은 도로 밑에 매설된 Litz케이블에서 발생하는 자기장을 차량 하부에 장착된 집전장치를 통해 효율적으로 모아 전기에너지로 변환하여 차량을 운행하는 친환경 전기자동차를 말한다. 급전 인버터를 통해 20 kHz 고주파 전류가 생성되어 도로 하부에 매설되어 있는 급전선로를 통해 전달된 전류를 차량 하부에 있는 집전 픽업이 비접촉 유도를 통해 전류를 받아 레귤레이터를 통해 배터리와 모터로 전달되어 정차 및 주행 중 충전이 된다. 급전 구간에서는 주행 및 정차 중 충전을 통해 차량이 구동하며, 비급전 구간에서는 배터리를 통해 차량이 구동된다. 따라서 감전재해발생이 예상되는 일반설비에 대한 최적의 접지설비로의 전환을 통한 무선 충전설비의 전기적 시스템 안전성 확보를 위해 다음 사항이 필요하다.

- 국제기준에 부합되는 접지계통 적용에 따른 국내 전기 시설관련 혼란을 미리 대처함으로써 전기사용 신뢰성 확보
- 접지계통방식별 현장의 전기사용환경에 적합한 효율적인 적용방안을 도출하여 전기재해를 예방
- 고주파 집전장치의 전기안전측면의 신뢰도 확보 필요
- 계통 안전적 운용 기반마련 및 수용가설비의 전원안정도 확립

- 고주파 무선충전장치의 사고방지를 위한 유지보수 기술개발 및 자료 데이터베이스 구축
- 고주파 무선충전장치의 인체보호 협조 기반 구축
- 고주파 무선충전장치의 감전보호 기준안 제시
- 감전보호를 위한 점검 검사 기법 및 Guideline 제시
- 고주파 무선충전설비의 효과적 관리와 계통안정도 향상이 동시에 검토되어야 함
- 전력계통의 안정적 운용은 상위(한진)계통과 하위(집전장치) 간의 전략적 보호협조가 이루어 져야 하나, 관리체계의 이원화 및 분리로 사고 시 제어 및 보호방식의 어려움이 예상됨
- 기존 시스템(AC)과 무선충전설비의 복합적 시스템 구축으로 과급사고에 대한 신뢰도 확보 요구

다음 그림 3에서는 무선 전력전달 방식 친환경 교통 시스템의 구성 및 적합성평가 항목 구성을 보여준다. 적합성평가를 하기 위해 크게 검토되어야 할 범위와 그 범위에 따라 검토되어야 할 기술적 요구 사항에 대해 제시를 하였다. 그림에서 ①은 변전소의 변압기에서 인버터 2차측 출력 부분에 대해서는 설치환경, 접지, 절연, 감전, 보호 협조 방법에 대한 조건 및 시험 방법 등에 대해 검토가 되어야 할 것이다. 또한 그림에서 ②는 인버터 2차에서 20 kHz 고주파 전류가 급전도로에 시설되는 Litz케이블과 급전구조물 시설에서 케이블의 안전성, 설치 환경, 설치 깊이, 유지 보수에 대한 설비의 안전성 등이 전기설비기술기준에 적합한지를 실험 및 관련 해외 표준 등을 검토되어야 할 것이다. 특히 급전구조물 내의 시설될 Litz케이블의 경우 여러 변수(온도, 압력 등)를 고려한 안전성 평가가 시행되어야 할 것으로 판단된다. 그림 3은 사람이 많이 모이는 곳으로 각종 이벤트가 발생할 수 있는 가능성이 있는 정류소에 시설되는 전기설비에 대한 안전성과 그로 인해 발생하는 전자파 등에 대한 인체 안전성 등이 검토가 되어야 할 것이다. 고주파로 인한 인근 설비의 유도전압 및 인체 안전 부분에 대한 검토가 해외 표준 및 실험을 통해 표준 제시 등이 이루어져야 할 것이다. 본 논문에서는 Litz케이블, 무선 충전설비에서의 상시 누설전류 및 유도전압, 20 kHz의 전기설비 보호 및 안전성에 대한 적합성평가 방안을 제시하고자 한다.

표 1은 그림 3에서 ②의 Litz케이블에 관련하여 전기설비 기술기준에서 검토되어야 할 규정에 대해 제시한 부분이다.

Litz케이블에 대한 적합성평가기준은 표 1과 같이 전기설비 기술기준 및 동 판단기준을 통해 급전설비내의 시설된 Litz케이블의 성능 및 안전성에 대해서 평가되어야 한다. 또한 IEC 60502-1(Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1 kV up to 30 kV-Part 1: Cables for rated voltages of 1 kV and 3 kV), IEC 60811-1(Electric and optical fibre cables-Test methods for non-metallic materials-Part 100: General), IEC 60332-3-24(Tests on electrical and optical fibre cables under fire conditions-Part 3-24: Test for vertical flame spread of vertically-mounted bunched wires or cables-Category C) 표준을 통해 Litz케이블의 적합성(도체 저항, 절연저항, 내전압 시험, 허용전류, 핫셋시험, 수축시험, 흡수시험, 난연성 등)을 평가할 수 있으나, Litz케이블은 무

선 전력전송의 고효율을 위해 제작된 특수케이블로서 IEC 표준 전선의 구조 및 열방산 조건 등이 달라 IEC 표준(케이블 관련)이 차이가 있으므로 Litz케이블의 적합성평가(도체 저항, 절연저항, 내전압 시험, 허용전류, 핫셋시험, 수축시험, 흡수시험, 난연성 등)를 위해 기존의 실험이 아닌 새로운 시

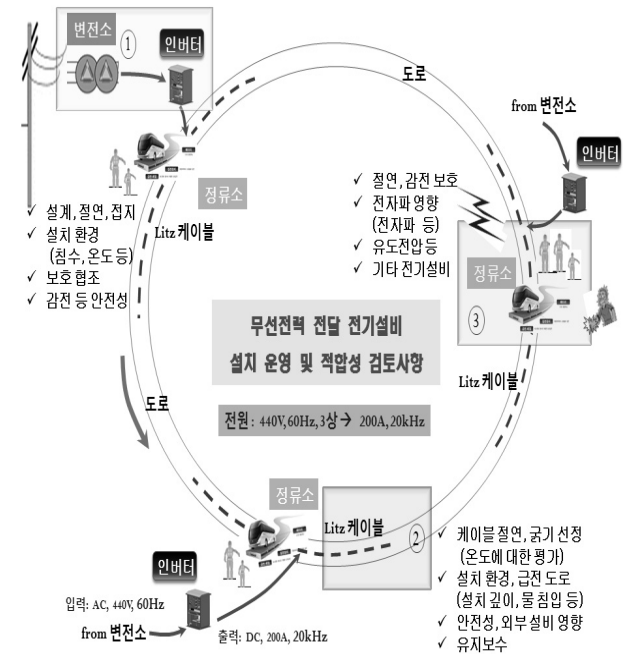


그림 3 무선 전력전달 방식 친환경 시스템의 구성 및 적합성 평가항목(안)

Fig. 3 Composition of eco-friendly public transportation system based on the wireless power transfer and Confirmity Assessment item

표 1 전력공급 케이블 관련 전기설비기술기준 및 동 판단기준의 조항

Table 1 Article of power supply cable(Litz cable) in Electrotechnical Regulation & Conformity Criteria

평가 기준	관련 법규	검토 상황
케이블 성능 평가	1. 전기설비기술기준 - 제2조(안전원칙), 제 5조(전로의 절연), 제 26조(전선로 등의 시설), 제27조(전선로의 전선 및 절연성능), 제50조(배선의 시설), 제51조(배선의 사용 전선), 제52조(저압전로의 절연성능), 제38조(지중전선로의 시설), 2. 전기설비기술기준의 판단기준 - 제12조(전로의 절연), 제13조(전로의 절연저항 및 절연내력), 제136조(지중 전선로의 시설)	- 공인시험 성적서 - 시험 방법 및 근거 - 판단 근거 제시

험방법 및 재계산이 필요하다고 사료된다. Litz케이블의 성능에 대한 평가와 더불어 Litz케이블 매설시 구조체 내의 온도, 압력, 방수 등에 대한 안전성의 평가도 필요하다.

표 2는 상시 누설전류 및 유도전압에 관련하여 전기설비 기술기준에서 검토되어야 할 규정에 대해 제시한 부분이다.

상시 누설전류에 대한 적합성평가기준은 표 2의 조항들을 토대로 하여 적합성평가를 실시한다. 무선 전력전송 전기자동차의 충전, 미충전시의 전류파형을 측정하고 전류 크기 및 위상을 비교하여 상시 누설전류의 안전성을 평가한다. 상시 누설전류 측정 시 측정결과에 대한 신뢰성 확보를 위해 측정기기의 모델명, 검정기간 등을 제시하며, 한국전기안전공사, 전문업체, 시험기관 등에 의뢰할 필요가 있다. 유도전압에 대한 적합성평가기준은 표 2에서 제시한 전기설비기술기준 및 동 판단기준의 조항을 통해서 평가되고 또한 IEC 60479-2(Effects of current on human beings and livestock-Part 2: Special aspects) 표준을 적용할 수 있다. 주변 시설물과 접지사이에 전압 Probe를 설치하여 무선 전력전송 전기자동차의 충전, 미충전시의 전압파형을 측정하고 전압 크기를 분석하여 유도전압에 대한 안전성을 평가한다.

표 2 상시 누설전류 및 유도전압 관련 전기설비기술기준 및 동 판단기준의 조항

Table 2 Article of leakage current and induced voltage in Electrotechnical Regulation & Conformity Criteria

평가 기준	관련 법규	검토 상황
상시 누설전류	1. 전기설비기술기준 -제2조(안전원칙), 제5조(전로의 절연), 제14조(지락에 대한 보호), 제27조(전선로의 전선 및 절연성능), 제52조(저압전로의 절연성능) 2. 전기설비기술기준의 판단기준 -제12조(전로의 절연), 제13조(전로의 절연저항 및 절연내력), 제173조(고주파 전류에 의한 장애의 방지)	- 시험 방법 및 근거 - 판단 근거 제시
유도전압	1. 전기설비기술기준 -제2조(안전원칙), 제5조(전로의 절연), 제16조(고주파 이용설비에 대한 장애 방지), 제17조(유도장애 방지), 제54조(무선설비에 대한 장애 방지) 2. 전기설비기술기준의 판단기준 -제12조(전로의 절연), 제32조(고주파 이용설비의 장애방지), 제57조(전파장애의 방지), 제140조(지중 약전류선로의 유도장애의 방지)	- 시험 방법 및 근거 - 판단 근거 제시

20 [kHz]의 전기설비에 대한 보호 및 안전성에 대한 적합성평가도 필요하다. 고주파수에서는 상용주파수보다 강한 유도효과가 나타난다[7]. 그러나 현재 20 [kHz] 고주파 설비의 보호설비에 대한 전기설비기술기준 및 동 판단기준 조항이 없으며, 관련 표준도 없는 실정이다. 현재 IEC TC 69에서 기술표준 활동(IEC 61980-1 Ed. 1.0 Electric equipment for the supply of energy to electric road vehicle using an inductive coupling-Part 1: General requirements)에 주력 중이며, 추후에 적합성평가에 많은 도움이 될 것으로 판단된다.

3. 결 론

전기설비기술기준에 대한 적합성판단업무는 전기설비기술기준 제4조(적합성평가)의 규정에 의하여 동 기준의 판단기준에 명시된 사항 이외의 기술적 사항과 신기술 및 민간표준 등이 전기설비기술기준에서 정하는 성능규정을 충족하는지 여부에 대한 평가를 통하여 전기설비기술기준의 적합성을 판단하는 제도이다. 적합성평가를 위해서는 해당 기술이 전기설비기술기준에 관련된 조항의 내용에서 규정하고 있는 성능요건과 기술적 요소를 만족하는지를 평가한 후 적합성 여부를 판정하게 된다. 이를 위해서는 관련 시험 규격 및 시험조건 등을 제시하여 안전에 필요한 성능과 기술적 요건이 적합한지를 검토하게 된다. 본 논문에서는 최근에 개발 제시되고 있는 무선 전력전달 방식의 신기술의 적합성 평가를 예로 들어 Litz케이블, 무선 충전설비에서의 상시 누설전류 및 유도전압에 대한 적합성평가 방안 및 방향을 제시하였다. 또한 20 [kHz] 전기설비의 보호설비에 대한 적합성평가에 대해서는 현재 20 [kHz] 전기설비에 대한 보호설비 및 안전성 평가 방법이 정립된 것이 없으므로 이 기술 발전을 위해 관련 표준 및 보호협조 방법 등 연구가 필요하다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 R&D정책인프라 사업의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] 한국전파진흥협회, “무선전력전송 기술개발 및 표준화 동향”, 2011년 6월.
- [2] 안승영, 이주용, 조동호, 김정호, “온라인 전자자동차의 무선전력전송 시스템 최적화”, 대한전기학회 하계학술대회, 2011년.
- [3] 전양배, “무선전력전송을 이용한 온라인 전기자동차 기술현황”, 전파진흥 제20권 제4호 pp42-53, 2010년 7월.
- [4] 전기안전연구원, “적합성평가항목 연구”, 한국전기안전공사 전기안전연구원, 2011년 10월.
- [5] 대한전기협회, “전기설비 적합성평가시스템 개선 연구”, 대한전기협회, 2003년 4월.
- [6] 전기설비기술기준 및 판단기준, 지식경제부, 2012.
- [7] Kevin Roebuck, “Wireless Power”, 2012년 6월.

저 자 소 개



신 정 진 (申 定 鎭)

1982년 2월 14일생. 2008년 안양대학교 전기전자공학과 졸업. 2010년 숭실대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2011년 1월 ~ 현재 대한전기협회 기술기준처 직원.



김 기 현 (金 基 鉉)

1971년 5월 1일생. 1997년 숭실대학교 전기공학과 졸업. 2000년 8월 동 대학원 졸업(석사). 2007년 2월 동 대학원 졸업(박사). 2003년 ~ 2011년 전기안전연구원 선임 연구원 근무. 전기안전기술사. 2011년 11월 ~ 현재 대한전기협회 기술기준처 팀장.



이 강 희 (李 堉 熙)

1977년 6월 21일생. 2004년 경남대학교 졸업. 2012년 인하대학교 전기공학과 석사과정. 2007년 ~ 현재 대한전기협회 기술기준처 과장



김 한 수 (金 漢 洙)

1964년 7월 21일생. 1992년 부경대 전기공학과, 1994년 경성대 산업공학과 석사. 2008년 서울과기대 신에너지공학과 박사. 1983~1997년 한국전력공사 근무. 1997년 ~ 현재 대한전기협회 기술기준처 처장.