

전기차 충전시스템 상호운용성 향상을 위한 적합성 평가시스템 개발 및 기법 연구

서우현*¹, 장기성*²

Development of Testing System and Research of Method for Improving Interoperability of Electric Vehicle Charging System

Woohyun Seo*¹, KiSung Chang*²

이 연구는 산업통상자원부 한국에너지기술평가원의 로봇기반 전기자동차 급속 자동 충전시스템 개발 및 실증사업의 지원을 받아 수행한 결과임

요 약

각 정부 정책에 따라 탄소배출 저감을 위해 전기차 보급이 확대되고 있으나, 전기차 충전시스템은 시스템 자체와 관련 표준의 복잡도, 전기차와 충전기 제조사의 기술적 해석차이로 인해 상호운용성 위협이 항상 존재한다. 이를 극복하기 위해 전기차와 충전기 간 모든 조합에 대해 상호운용성 평가를 수행하는 것이 이상적이거나, 보다 현실적인 접근 방법은 표준에 근거한 적합성 평가이며, 적합성 평가에 있어서 필수조건은 평가시스템을 보유해야 한다는 것이다. 본 논문에서는 고품질의 평가시스템을 개발하기 위해 고려해야 할 요소들을 도출하고 분석 후 시스템 단위의 총괄 설계 및 개별 모듈 설계를 제안하였다. 제안된 설계를 바탕으로 초도 시스템을 구현하여 시험 케이스를 수행한 뒤 관련 결과물을 제시하였다.

Abstract

As government policies increasingly target carbon-emission reduction, the adoption of electric vehicles (EVs) continues to grow. However, EV charging systems still face interoperability challenges due to system complexity, standard ambiguity, and differing technical interpretations among EV and charger manufacturers. While a full interoperability assessment across all EV-charger combinations is ideal, a more practical and scalable approach is standards-based conformity assessment, which requires a reliable evaluation system. This paper identifies key considerations for developing a high-quality evaluation system and proposes both an overall system architecture and detailed module designs. A prototype system was implemented based on the proposed design, and representative test cases were conducted. The corresponding results are presented.

Keywords

electric vehicle, charging system, testing system, analysis

* 한국전기연구원 지능형에너지시험실(*¹ 교신저자)

- ORCID¹: <https://orcid.org/0009-0009-3187-3078>

- ORCID²: <https://orcid.org/0009-0000-5776-9230>

• Received: Nov. 19, 2025, Revised: Dec. 18, 2025, Accepted: Dec. 21, 2025

• Corresponding Author: Woohyun Seo

111, Hanggaui-ro, Ansan-si, Gyeonggi-do, Republic of Korea

Tel.: +82-31-8040-4402, Email: whseo@keri.re.kr

1. 서 론

자동차, 선박, 항공과 같이 탄소배출 비중이 높은 모빌리티 분야에서는 지속가능성 확보를 위한 탄소저감 노력이 가속화되고 있으며, 그 중심에는 전기차(EV, Electric Vehicle)가 위치한다[1][2]. 전기차는 배터리에 저장된 전기에너지를 전동기로 변환하여 구동하는 특성상 충전 인프라를 통한 에너지 보충이 필수적이며, 이때 사용되는 기반 전력원은 가정 및 건물 등에 전력을 공급하는 기존 전력계통이다. 전기차는 충전기를 경유하여 전력계통과 직접 연계됨으로써 하나의 에너지 네트워크의 구성요소로 편입되며, 특히 신재생에너지 기반 전력을 활용할 때 최적의 탄소감축 효과를 달성할 수 있다.

이러한 배경에서 충전기술은 전기차 생태계에서 가장 우선적으로 확보되어야 하는 핵심 기술로 평가된다. 주목할 점은 충전 과정의 상당수가 제조사가 서로 다른 전기차와 충전기 간에 이루어진다는 사실이며, 동시에 그 과정에서 매우 큰 전력이 전달된다는 점이다[3]. 예컨대 국내 고속 충전 인프라에서는 최대 350~400 kW급의 초급속 충전기가 운영되고 있으며, 이는 1시간의 충전만으로도 우리나라 가구당 월평균 전력 사용량을 상회할 수 있는 수준이다. 따라서 충전기술은 사용자 편의성뿐 아니라 높은 수준의 안전성과 신뢰성 확보를 필수 요건으로 가진다.

전기차와 충전기가 충전 기능을 수행하기 위해 요구되는 일련의 기술적 절차와 조건을 총칭하여 상호운용성(Interoperability)이라 정의한다. 상호운용성 확보를 위해서는 다양한 기술적 요소가 필요하나, 가장 근본적이고 우선적인 요소는 명확하고 국제적으로 합의된 표준의 존재이다. 국내 전기차 시장은 현대차·기아, KGM 등 주요 국내 제조사뿐 아니라 다수의 글로벌 제조사가 동시에 참여하는 구조이므로, 국내 기술기준 역시 폐쇄적 규격이 아닌 표 1과 같이 ISO, IEC 등의 국제표준에 기반하여 다국적 제조사가 공통적으로 적용 가능한 형태여야 한다. 국가기술표준원이 권장하는 타입1 및 CCS (Combined Charging System) 규격[4]은 이러한 국제 표준을 기반으로 하며, 전기차와 충전기 간 상호운용성 확보를 위한 핵심적 기술 기반을 제공한다.

그러나 국제표준이 존재한다는 사실만으로 실제 현장에서 상호운용성이 보장되는 것은 아니다. 표준 자체에 잠재적 모호성이 존재할 가능성이 있으며, 제조사별로 표준의 해석 수준이나 구현 방식이 상이할 수 있기 때문이다. 이러한 불확실성이 해소되지 않을 경우, 충전 현장에서는 예측하기 어려운 기술적 문제 발생 가능성이 상존하며, 제조사는 문제 해결을 위해 지속적인 개별적 대응이 요구된다. 이에 따라 전기차 및 충전기 개발, 검증, 사업화, 운영 전 과정에서 체계적이고 객관적인 상호운용성 확보 노력이 업계 전반의 핵심 과제로 부상하고 있다[5].

표 1. 전기차 충전시스템 관련 표준

Table 1. Electric vehicle charging system related standards

Category	Standard	Version	Status
Connector	IEC 62196-1, 2, 3 IEC 62196-3-1 IEC 62196-7 IEC 63379	Ed4, 3, 2:2022 Ed1:2020	Ed5, 4, 3:FDIS, CDV DTS DTS
System/safety	IEC 61851-1 IEC 61851-23 ISO 17409 IEC 61980-1, 2, 3 IEC 61851-23-3	Ed3:2017 + COR1:2023 Ed2:2023 Ed1:2015 Ed1:2020, 2023, 2022	Ed4:CDV Ed3:CD Ed1: CDV
Communication	IEC 61851-24 DIN Spec. 70121 ISO 15118-1, 2, 3, 8, 20	Ed2:2023 Ed1:2014	Ed3:CD Ed2:FDIS
EMC	IEC 61851-21-1 IEC 61851-21-2	Ed1:2017 Ed1:2018	Ed2:CDV Ed2:CDV

II. 관련 연구

2.1 전기차 충전시스템 표준 개요

전기차 충전시스템은 자동차, 전기, 통신 등 다양한 분야의 기술들이 모여 충전이라는 하나의 행위를 구성하게 된다. 이에 따라 자동차 및 통신 분야의 표준 그룹으로서의 ISO와 전기 분야의 표준 그룹으로서의 IEC가 서로 연계하여 시스템을 구성할 수 있도록 다양한 표준을 개발하게 되었다. IEC 61851 시리즈 표준[6]의 경우 가장 기본적인 시스템 구성요소와 안전에 관련한 요구사항을 포함하고 있으며, 커넥터 분야에 있어서 IEC 62196[7] 시리즈가 발간되어 활용되고 있다. 전기차 및 충전기 간 통신과 관련한 요구사항은 ISO 15118[8] 시리즈에서 다루고 있다. 더불어 시스템 운영 안정도 확보를 위해 전자파 적합성(EMC, ElectroMagnetic Compatibility) 분야의 기술적 요구사항 또한 필수적으로 제시되어야 한다.

상기와 같이 전기차 충전시스템을 구성하는 기술적 카테고리 별로 표준이 존재함과 동시에 전기차와 충전기를 개발하는 제조사가 서로 다른 표준 해석이 가능하므로, 전기차 충전시스템은 태생적으로 상호운용성 문제에 노출되어 있다. 또한, 전기차 내 탑재된 인증서에 기초한 결제 기술(PnC, Plug-and-Charge), 양방향 충전, 전기차 배터리를 ESS로 활용하는 기술(V2G, Vehicle-to-Grid) 등 충전시스템 신기술이 적용될 때마다, 관련 표준은 더 증대되며 기술의 복잡도는 증가되어 상호운용성 위협은 더욱 커지게 된다[9].

2.2 상호운용성 평가 개요

상호운용성 확보를 위한 주요 기술적 수단은 상호운용성 평가와 적합성 평가로 구분되며, 그림 1은 이에 대한 개념을 보여주고 있다. 그림 1에서 상호운용성 평가는 서로 다른 제조사의 전기차(EV)와 충전기(EVSE)를 동일 시험 환경에 배치하여, 국제표준에 정의된 절차에 따라 충전 기능을 상호 검증하는 방식이다. 반면 적합성 평가는 표준 요구사항에 대한 시험 역량이 검증된 평가장치(Norm)를 활용해 개별 장비의 표준 충족 여부를 정량적으로 평가한다.

상호운용성 평가는 실제 운용 환경을 직접 모사한다는 점에서 효과적이지만, 국내 시장만 해도 수천 종의 충전기와 수백 종의 전기차 모델이 존재한다는 점에서 모든 조합을 시험하는 데에는 시간적·물리적 한계가 있다. 그럼에도 불구하고 상호운용성 평가는 출시(또는 출시 예정) 모델을 대상으로 실질적 충전 동작을 확인할 수 있어, 전기차-충전기 간 상호운용성 확보는 물론 시장에서 발생할 수 있는 기술적 이슈의 사전 검증 측면에서 중요한 역할을 한다.

대표적인 국제 사례로는 CharIN(Charging Interface Initiative)이 2020년부터 매년 1~2회 지역별로 개최하는 Testival(Test + Festival)이 있다. 그림 2에서 볼 수 있듯이 Testival은 다양한 제조사의 전기차 및 충전기를 집결시켜 ISO/IEC 기반 프로토콜, 전력 전송, 통신 절차 등을 시험함으로써 구현 차이에 따른 상호운용성 문제를 조기에 식별하는 글로벌 평가 플랫폼으로 기능한다.

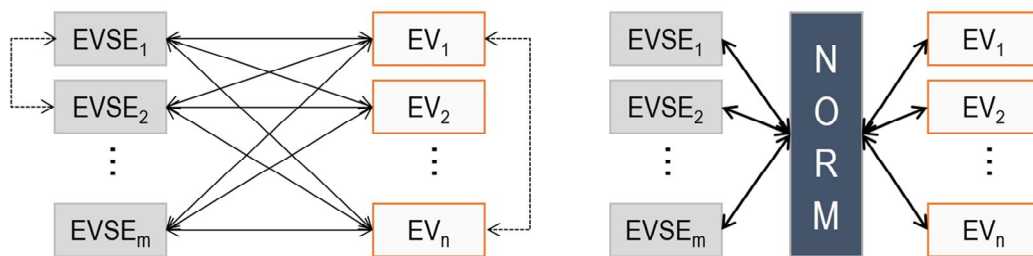


그림 1. 상호운용성 및 적합성 평가 개념

Fig. 1. Conceptual figure of interoperability and conformance testing

2.3 실질적 활용에 있어서의 적합성 평가

상호운용성 평가는 시간·장소·참여 제조사 구성에 따라 시험 가능 범위가 제한되는 반면, 적합성 평가는 검증된 평가장치(Norm)를 활용하여 제3차 시험기관 또는 제조사 자체 시험환경에서도 수행할 수 있으므로, 시간과 공간 제약이 거의 없는 가장 현실적인 상호운용성 확보 방안으로 평가된다. 적합성 평가의 핵심 요건은 평가 주체와 무관하게 시험 품질이 일정하게 유지되는 것이다. 이는 동일한 표준 요구사항에 대해 제조사나 모델 종류에 상관없이 동일 수준의 시험 결과를 도출할 수 있으며, 궁극적으로 동일 수준의 상호운용성을 확보할 수 있음을 의미한다.

예를 들어, 국내 A 제조사가 자체적으로 수행한 적합성 평가 결과와 B 시험기관에서 수행한 결과가 일관성을 유지해야 하며, 국내 C 제조사와 해외 D 제조사의 충전기가 동일한 시험기관(B)에서 적합성 평가를 성공적으로 통과했다면, 두 모델 모두 동일한 상호운용성 수준을 갖는 것으로 간주할 수 있어야 한다.

적합성 평가 품질을 결정하는 핵심 요소는 바로 적합성 평가시스템이다. 전기차 충전 기능은 다수의 국제표준 기반 요구사항에 의해 동작하며, ISO 15118 시리즈에서 정의된 통신 패킷을 통해 EV - EVSE 간 충전 관련 정보가 교환된다. 또한 IEC 61851 시리즈에서 규정하는 절연 요건, 커넥터 정격, AC/DC 컨버터 전류 전압 정밀도 등 다양한 규격을 충족함으로써 충전 시스템의 안전성이 보장된다. 이로 인해 전기차 충전 시스템 자체뿐만 아니라 이를 평가하기 위한 적합성 평가시스템 역시 높은 복잡도를 가진다.

복잡한 평가시스템에 대한 검증 또한 중요한 기술적 과제이다. 앞서 언급한 바와 같이, 적합성 평가의 목적은 평가 주체 및 평가 대상이 변하더라도 일정한 품질을 보장하는 것이므로, 평가시스템에 요구되는 기본 성능(Specification)뿐 아니라 이를 검증할 수 있는 체계적 절차가 함께 제시되어야 한다. 현재 전기차 충전 기능에 대한 적합성 평가시스템을 제공할 수 있는 기업은 Keysight, Comemso,

Vector 등 글로벌 장비 제작사로 제한되며, 이들 기업은 10년 이상 관련 기술을 축적해왔을 뿐 아니라, 독점적 시장 지위를 바탕으로 세부 구현 정보를 공개하지 않는 폐쇄적 정책을 유지하고 있다. 따라서 개별 평가시스템의 내부 구현을 직접 확인하는 방식의 검증 접근법은 현실적으로 적용하기 어렵다.

III. 전기차 충전 기능 평가시스템 설계 및 구현 결과

3.1 전기차 충전 기능 평가시스템 총괄 설계

전기차 충전 기능에 대한 적합성 평가의 대상은 앞서 언급한 바와 같이 전기차(EV)와 충전기(EVSE)이며, 평가시스템은 이들 장치를 모의(Simulation)함과 동시에 표준에 따른 평가 기능을 수행할 수 있어야 한다. 평가시스템은 대상 장비보다 더 높은 기능적 복잡성을 요구하므로, 효율적 설계를 위해 세부 기능 단위로 구조를 분리하는 모듈화 접근이 필요하다. 또한 구현 단계에서는 모든 기능을 자체 개발하기보다는, 요구되는 품질을 충족하는 경우 상용 모듈을 활용함으로써 유지보수성과 장기적 안정성을 확보할 수 있다. 따라서 필수 기능 블록에 한정하여 설계 및 구현을 수행하는 것이 바람직하다.

본 논문에서 제안하는 적합성 평가시스템의 전체 프레임워크는 그림 2와 같다. 그림 2에서 볼 수 있듯이 평가시스템은 EV 또는 EVSE에 대한 적합성 평가 수행 시 상응하는 충전기 또는 전기차의 역할을 모의해야 하므로 통신 송수신 기능과 시험 절차 실행 기능을 보유한 시뮬레이터(Communication & executor module)로 구성된다. 더불어 EV 또는 EVSE로의 물리적 인터페이스는 인렛(Inlet) 또는 커넥터(Connector)를 통해 대상 장비와 연결되며, 이 인터페이스는 전력 전송 경로와 통신 경로로 구분된다.

또한 그림 2 내부의 전력 전송 경로는 DC 기반 충전 전력을 생성할 수 있는 전원장치(Power transfer module)와 연결되며, 통신 경로는 통신 및 제어 기능을 담당하는 통신 시뮬레이터(Communication & executor module)에 연결된다.

총괄 제어 기능과 HMI(Human - Machine Interface)는 운용 효율성 및 실시간 제어 요구를 충족하기 위해 통신 시뮬레이터 내부에 통합하는 구조로 설계하였다. 또한 국제표준에서 정의된 시나리오에 따라 적합성 평가를 수행할 수 있도록 시험 케이스(Test case) 스크립트를 통신 시뮬레이터와 연동함으로써, 실제 평가 절차의 자동화 및 재현성을 확보한다.

한편, 제안된 평가시스템 구조에서 인렛, 커넥터, 전력 공급 모듈 등은 상용 제품을 사용하더라도 품질 확보가 가능하며, 다양한 제조사의 제품이 존재한다. 이러한 구성 요소는 본 연구의 핵심 설계 범위를 벗어나므로 세부 설계 논의에서 제외한다.

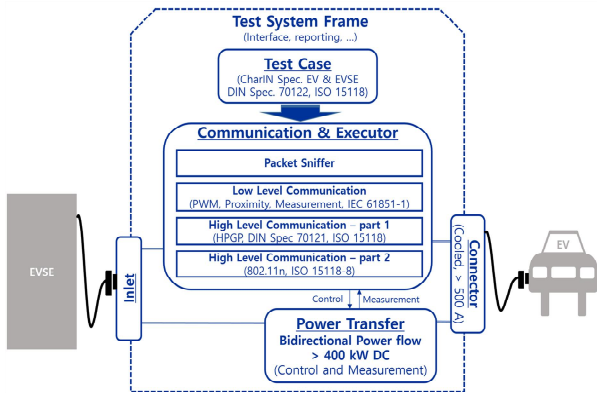
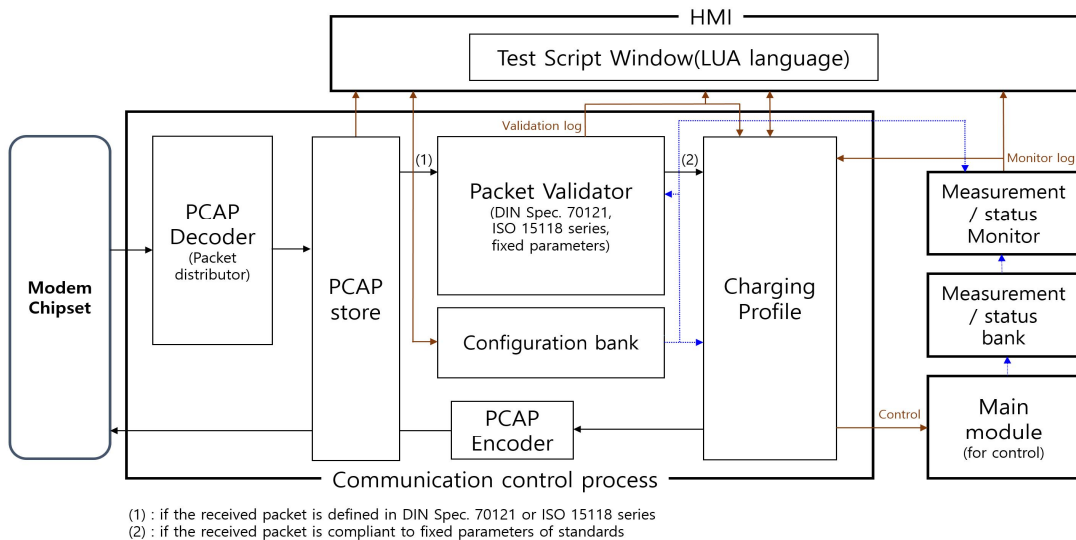


그림 2. 평가시스템 프레임 설계
Fig. 2. Testing system frame design

통신 시뮬레이터의 상세 설계를 위해 그림 3과 같이 내부 구조를 통신/제어 프로세스 모듈과 계측 데이터 처리 모듈로 구분하였다. 그림 3에서 통신/제어 프로세스의 ISO 15118 표준 기반 통신은 PLC(Power Line Communication) 기술에 의해 구현되며, HomePlug GreenPHY 물리계층 모델과 전송 계층 이하의 스택 라이브러리를 연계하여 구성한다. 해당 모듈은 상용 솔루션을 통해 패킷 송수신 기능을 확보할 수 있으며, ISO 15118 표준에서 패킷 인코딩·디코딩 스키마를 명확히 제공하고 있으므로 솔루션 간 품질 차이가 크지 않은 것으로 확인된다.

그림 3의 모뎀(Modem chipset)을 통과한 통신 패킷의 처리 및 제어를 위해 패킷 저장소(PCAP store)를 구성하였으며, 모든 패킷은 디코딩 및 인코딩 절차를 본 저장소를 통해 통과하도록 설계하였다. 디코딩된 패킷에서 응용 계층 데이터를 추출한 후, 표준에서 제시하는 요구사항을 1차적으로 검증하기 위한 패킷 검증장치(Packet validator)를 구현하였다. 이 검증장치는 시험 목적에 따라 요구값을 조정할 수 있도록 파라미터 가변성을 제공한다. 반대로 송신 패킷 생성 과정에서는 충전 프로파일(Charging profile)을 반영할 수 있는 기능 블록을 포함하여, 표준에서 요구하는 상세 데이터가 사전 설정 값에 따라 자동으로 패킷에 삽입되도록 설계하였다.

3.2 평가시스템 통신 시뮬레이터 내 통신/제어 프로세스 모듈 설계



(1) : if the received packet is defined in DIN Spec. 70121 or ISO 15118 series
(2) : if the received packet is compliant to fixed parameters of standards

그림 3. 평가시스템 통신/제어 프로세스 모듈 설계
Fig. 3. Testing system Communication control process module design

계측 데이터 처리 모듈은 평가 대상 장비로부터 획득한 실시간 전압·전류 데이터를 시뮬레이터 내부 데이터베이스(Measurement/status bank)에 저장하고, 이를 기반으로 기준값 대비 이상 여부를 판단하는 모니터링 모듈(Measurement/status monitor)을 포함한다. 해당 모듈은 통신 시뮬레이터가 시험 절차 중 요구되는 전력 상태 정보를 실시간으로 반영할 수 있도록 한다.

적합성 평가 항목을 수행하기 위해, 본 논문에서 제안하는 구조는 스크립트 기반 운용 모듈을 통신/제어 프로세스의 상위 계층에 배치한다. 본 스크립트는 시험 절차(TC, Test Case)의 실시간 실행을 위해 밀리초(ms) 단위 제어가 가능한 LUA 언어를 사용하였다. 이를 통해 시험 단계별 명령 전달, 동작 조건 설정, 패킷 송수신 트리거 등이 통합적으로 관리된다.

최종적으로, 수신 패킷은 디코더를 통과하여 패킷 저장소에 기록되며, 패킷 검증장치를 거쳐 유효성이 확인된 데이터는 시험 스크립트 엔진으로 전달되어 시험 절차의 흐름을 제어하는 데 활용된다.

반대로 시험 스크립트에서 생성된 정보는 충전 프로파일을 거쳐 패킷 인코더로 전달되며, 모델 모듈을 경유하여 시험 대상으로 전송된다. 이 모든 과정에 있어서 계측 데이터는 관련 데이터베이스 및

모니터링 파트를 통해 실시간으로 시험 스크립트 부분에 전달되어 최종 평가의 합부 판정을 위해 사용된다.

3.3 평가시스템 통신 시뮬레이터 내 계측 데이터 처리 모듈 설계

계측 데이터 처리 모듈은 충전 과정에서 발생하는 전류 및 전압에 대한 실시간 계측 정보를 제공하는 요소로서, 적합성 평가에서 핵심적인 관측 기능을 수행한다. 본 기능 구현을 위해 그림 4와 같이 1,000 V, 500 A 범위를 지원하는 FPGA 기반 실시간 아날로그-디지털 변환기를 설계하였다.

그림 4에서 아날로그 입력 채널은 총 네 가지 유형으로 구분하여 충전 시스템의 요구 특성에 따라 배치하였다. 첫 번째 채널은 CP(Control Pilot) 신호 계측을 위한 채널로, 20 Msamples/s의 샘플링 속도를 적용하여 1 kHz PWM(Pulse Width Modulation) 신호의 파형 및 듀티 분석이 가능하도록 설계하였다. 두 번째 채널은 1,000 V급 고전압 측정을 위한 채널로, 온도 변화에 따른 영향이 최소화된 고정밀 저항 분압 소자를 적용하였으며, 충전 시스템에서 요구되는 유효 대역폭을 사전 분석하여 500 ksamples/s의 샘플링 속도를 도출하였다.

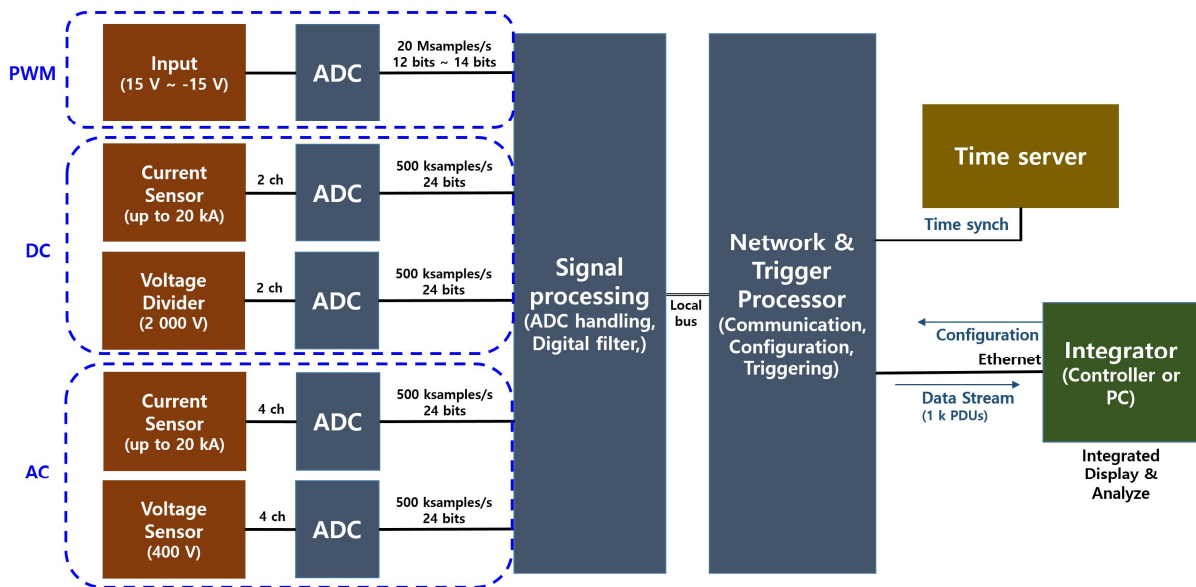


그림 4. 평가시스템 계측 데이터 처리 모듈 설계
Fig. 4. Testing system measurement data process module design

세 번째 채널은 500 A 이상의 고전류 측정을 위한 채널로, 상용 전류 센서를 기반으로 고전압 측정 채널과 동일한 500 ksamples/s 샘플링 속도를 적용하였다. 마지막으로 네 번째 채널은 20 V 이하의 저전압 측정을 위한 채널로 구성하였으며, 아날로그-디지털 변환 구조는 고전압-고전류 계측 채널과 동일한 방식으로 설계하였다.

그림 4의 설계 그림에서 제시하고 있듯이, 각 계측 채널은 교류(AC)와 직류(DC)로 구분되어 있으나 세부 설계 사항을 동일하며, 계측 후 신호를 처리하는 로직만 다르게 구현되었다.

계측된 서로 다른 13개의 아날로그 값들은 디지털로 변환되어 TLV(Type-Length-Value)로 구성된 ASN.1 인코딩 기법을 적용하여 통신 패킷으로 만들어진 뒤 통신/제어 프로세스로 전달하게 된다. 본 인코딩 기법의 경우 일반적으로 사용되는 규칙을 활용하였으므로 상세 서술은 생략한다.

3.4 평가시스템 시험 케이스 스크립트 구현 및 예시

상기 설계에 대한 구현 이후 표준에서 제시하고 있는 시험 케이스를 수행하기 위한 스크립트 개발이 필요하다. 스크립트의 경우 앞서 설계에서 서술하였던 것과 같이 LUA 언어를 활용하였으며, 필요 인터페이스는 개별 API(Application Programming

Interface)를 개별 설계하여 구성하였다. 스크립트 구성에 대한 예시는 그림 5와 같다. 그림 5는 전기차 충전시퀀스 중 CableCheck에 대한 것이며, CableCheck 루프 숫자에 따라 전압의 크기를 조절하여 임의의 전압을 모의할 수 있도록 스크립트를 개발하였다.

CC.7.5.12 0 A mode during energy transfer

TestCase	
FileName	CC.7.5.12 0 A mode during energy transfer_20241128_172658
Description	Check if the current regulation fulfils the requirements for 0 A mode. Check accuracy of current and voltage measurement
Date	2024-11-28 17:26:58.896
Verdict	Pass
RunTime	269.6

Summary		
Time	Level	Content
17:22:02.481	WARN	Current average duration: 0.1s
17:22:02.481	WARN	EVSE measurement delay: 0.2s, standard requirement: 0.2 s
17:22:25.592	WARN	Intended test voltage 275.0
17:22:28.799	WARN	TestMaxPower was decreased from 50.0 kW to 41.2 kW due to EVSEMaximumPowerLimit
17:22:33.979	WARN	PASSED: Deviation 0.0053177570093458 A (Target 0 A, Measured -0.0053177570093458 A)
17:22:33.979	WARN	PASSED: Deviation 0.0053177570093458 A (EVSE 0.0 A, Measured -0.0053177570093458 A)
17:22:33.979	WARN	PASSED: Deviation 0.56507476635505 V (EVSE 274.0 V, Measured 274.56507476636 V)
17:22:36.698	WARN	OK, Returned to original current. Deviation 0.0214205607477 A (Target 1.0 A, Measured 1.0214205607477 A)
17:22:41.969	WARN	PASSED: Deviation 0.007626666666667 A (Target 0 A, Measured 0.007626666666667 A)
17:22:41.969	WARN	PASSED: Deviation 0.007626666666667 A (EVSE 0.0 A, Measured 0.007626666666667 A)
17:22:41.969	WARN	PASSED: Deviation 0.57078666666695 V (EVSE 274.0 V, Measured 274.57078666667 V)
17:22:44.688	WARN	OK, Returned to original current. Deviation 0.033155172413791 A (Target 7.2 A, Measured 7.2331551724138 A)
17:22:49.969	WARN	PASSED: Deviation 0.014020618556701 A (Target 0 A, Measured -0.014020618556701 A)
17:22:49.969	WARN	PASSED: Deviation 0.014020618556701 A (EVSE 0.0 A, Measured -0.014020618556701 A)
17:22:49.969	WARN	PASSED: Deviation 0.57257731958765 V (EVSE 274.0 V, Measured 274.57257731959 V)

그림 6. 시험 케이스 결과 리포트 예시
Fig. 6. Test case result report example

```

88 DC_EVSEStatus(IsolationLevel.Valid, false, EVSENotification.None, DC_EVSEStatusCode.EVSE_Ready, 0))
89
90 IsolationVoltageReached = false
91 PcsMinimumVoltageReached = false
92
93 --Pcs.ON()
94 SecC.Delay(0.1)
95
96 CableCheckLoopCount = 0
97 Loop.Timeout(0, function()
98   CableCheckReq = SecC.Receive_CableCheckReq(00)
99
100   if CableCheckLoopCount == 0 then
101     Pcs.Set_TargetVoltage(EVSE_DC_MaximumVoltageLimit * 0.0)
102     Pcs.Set_TargetCurrent(0)
103
104     Pcs.ON()
105   elseif CableCheckLoopCount == 3 then
106     Pcs.Set_TargetVoltage(EVSE_DC_MaximumVoltageLimit * 0.4)
107     Pcs.Set_TargetCurrent(0)
108
109   elseif CableCheckLoopCount == 14 then
110     Pcs.Set_TargetVoltage(EVSE_DC_MaximumVoltageLimit)
111     Pcs.Set_TargetCurrent(0)
112
113   end
114
115   Log.Info(string.format("Meas.DcLine.DCPlus_DCMinus_U %0.1f > %0.1f", Meas.DcLine.DCPlus_DCMinus_U, EVSE_DC_MaximumVoltageLimit))
116
117   if IsolationVoltageReached == false then
118     if Meas.DcLine.DCPlus_DCMinus_U > (EVSE_DC_MaximumVoltageLimit - 30) then
119       Pcs.OFF()
120
121       IsolationVoltageReached = true
122     end
123   else
124     if Meas.DcLine.DCPlus_DCMinus_U < 100 then
125       SecC.Send_CableCheckRes(ResponseCode.OK, EVSEProcessing.Finished,
126         DC_EVSEStatus(IsolationLevel.Valid, false, EVSENotification.None, DC_EVSEStatusCode.EVSE_Ready, 0))
127       return true
128     end
129   end
130 end

```

그림 5. 시험 케이스 스크립트 예시
Fig. 5. Test case script example

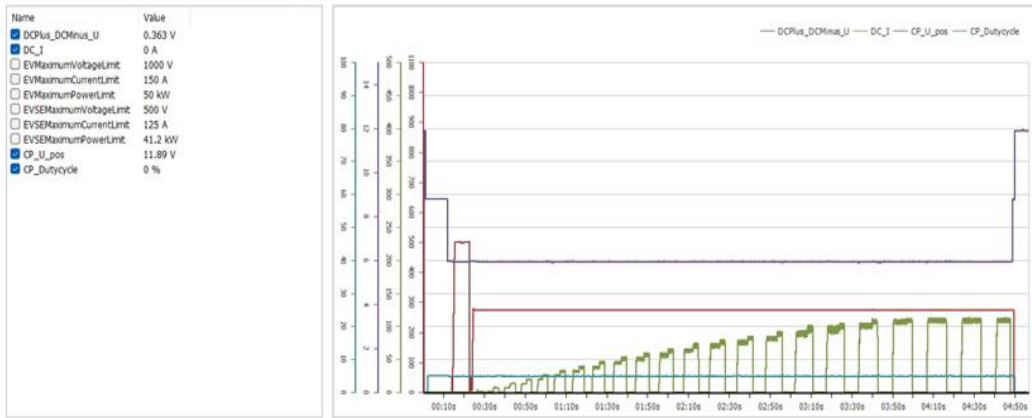


그림 7. 시험 케이스 결과 리포트 그래픽 예시
 Fig. 7. Test case result report graphic example

그림 5에서 시험 케이스 수행 후 생성되는 결과물은 그림 6 및 7과 같이 PDF 형식으로 자동 출력되도록 설계하였다. 이를 통해 본 논문에서 제안한 평가시스템 소프트웨어를 보유하지 않은 이해관계자도 시험 결과를 독립적으로 검토할 수 있도록 고려하였다. 그림 6에서는 IEC 61851-23 표준의 CC.7.5.12항에서 제시하고 있는 시험 항목을 수행한 결과이며, 목표 전류(Target Current)에 따라 충전기에서 적절한 전류가 출력되었는지 계측하여 합부 판정을 수행한 내용이다. 목표 전류와 측정 전류의 차이(Deviation)을 명확히 제시함으로써 시험 결과에 대해 시험 엔지니어가 별도의 측정 없이 결과를 명확히 파악할 수 있도록 제시하였다.

또한 그림 7에서 볼 수 있듯이 계측 데이터는 모든 항목에 대해 그래픽 형태로 시각화하여, 시험 과정에서 계측된 전류 및 전압 파형을 직관적으로 확인할 수 있을 뿐만 아니라, 후속 단계에서의 정량적 분석 또한 용이하도록 구현하였다. 해당 그림은 그림 6에서 수행한 시험 결과의 측정 그래프를 예시로 제시하고 있다. 세부적으로는 시간이 뒤로 갈수록 더 큰 목표 전류를 제시한 것을 볼 수 있으며, 그래프가 겹쳐있기는 하지만, 목표 전류와 충전 전류를 하나의 그래프에 그려서 그림 6에서 표기한 차이(Deviation)을 명확히 시각화 하였다.

3.5 평가시스템을 활용한 상호운용성 해결 사례

최근 DC 충전시스템은 공간 및 전력변환모듈의

활용성을 확대하기 위해 전력변환모듈을 1개의뱅크로 정의하고, 해당 뱅크에서 2개 이상의 커넥터에 충전 전원을 공급할 수 있도록 개발하고 있다. 이 충전시스템에서 1개의 전기차와 충전하고 있다면, 활용할 수 있는 최대 전력을 제공하나, 다른 전기차가 2번째 커넥터와 연결하는 경우 전원을 나누어 제공하는 전원 공유(Power sharing) 알고리즘을 포함하고 있다. 전원 공유 사항은 국제표준 내 서술되어 있지 않다보니 충전기마다 다른 형태의 알고리즘 동작을 하게 되고, 특정 충전기의 경우 전류를 0A로 낮춘 후 전원을 재분배한다. 하지만 전기차는 0A가 유지될 시 더 이상 충전 전력이 없다고 판단하고 충전을 중단하는 사례가 실제 종종 발생 하게 된다.

이와 같은 표준의 모호성으로 인해 발생한 상호운용성 문제의 경우 평가시스템을 통해 기술적 증거자료를 수집한 후 관련 제조사와의 협의를 통해 기술 가이드를 수립하게 된다. 또한, 평가시스템을 활용하여 평가를 통해 0A에서도 충전을 유지하는 패턴을 추가하여 충전이 중단되는 경우를 방지한 사례가 존재한다.

3.6 평가시스템의 핵심 정량적 지표

일반적으로 평가시스템은 개발 후 검증이 중요하며, 가장 직접적인 검증 단계는 측정에 대한 교정을 수행하는 것이다. 본 과제를 통해 개발된 평가시스템은 제 3자 기관의 교정을 통해 표 2와 같은 정량적 결과를 도출하였다.

표 2. 평가시스템 교정 결과

Table 2. Calibration result of testing system

Measurement	Accuracy
Control pilot	< 0.02 V(-14.5 V ~ 14.5 V)
AC voltage	< 0.05 V(0 V ~ 300 V)
AC current	< 0.02 A(0 A ~ 63 A)
DC voltage	< 0.5 V(0 V ~ 1 150 V)
DC current	< 0.6 A(0 A ~ 500 A)

IV. 결론 및 향후 과제

수송 분야의 탄소저감을 위해 전기차 보급 확대는 필수적이지만, 충전시스템은 표준 및 시스템 구조의 복잡성, 그리고 전기차와 충전기가 서로 다른 제조사에서 독립적으로 개발된다는 특성으로 인해 상호운용성 위협이 지속적으로 존재한다. 이러한 문제를 해소하기 위한 방안으로서 표준 기반 적합성 평가는 시간적·공간적 제약으로부터 자유로운 현실적 솔루션이 될 수 있으나, 해당 솔루션은 해외의 특정 선도 제작사에 한정되어 공급되고 있다.

이에 본 논문에서는 충전시스템에 대한 설계 기술을 제안하고, 시제품 제작과 운용 데이터를 통해 현실적 구현이 가능함을 확인하였다. 세부적으로 적합성 평가적합성 평가의 핵심 요구사항은 복잡한 충전 기능을 정밀하게 반영할 수 있는 평가시스템의 구축이며, 본 논문에서는 선도 제작사 수준의 성능을 목표로 한 총괄 설계와 통신 시뮬레이터의 상세 구조를 제안하였다. 특히 통신 시뮬레이터는 통신/제어 프로세스와 계측 데이터 처리 모듈로 분리하여, 모듈 간 독립성 유지와 고성능 처리가 가능하도록 구조화하였다. 이를 기반으로 표준에서 정의한 시험 케이스를 스크립트로 구현하여 전기차 또는 충전기 대상의 적합성 평가를 수행하였으며, 평가 결과는 PDF 기반의 리포트로 자동 생성됨을 확인하였다.

향후 연구에서는 본 논문에서 구현한 평가시스템을 국내외 관련 이해관계자에서도 확대 활용할 수 있도록 신뢰성을 확보하고 검증하는 것을 목표로 할 계획이다. 구체적 방안으로는 국제적 수준의 신뢰성을 확보하기 위해, CharIN에서 운영 중인 평가시스템 검증(Validation) 절차를 적용하여 성능을 공식적으로 입증하는 것을 주요 과제로 삼고자 한다.

References

- [1] International Energy Agency (IEA), CO2 Emissions from Fuel Combustion Highlights, 2024.
- [2] D.-K. Kim, A. S. Alaerjan, L. Lu, H.-S. Yang, and H. Jang, "Toward interoperability of smart grids", IEEE Communications Magazine, Vol. 55, No. 8, pp. 204-210, Aug. 2017. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2017.1600392>.
- [3] T. Bohn, "Scalable Electric Submeter Challenges for Electric Vehicle Charging; Low Level AC to DC Extreme Fast Charging for Commercial Vehicles", 2019 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC), Detroit, MI, USA, Jun. 2019. <https://doi.org/10.1109/ITEC.2019.8790583>.
- [4] KS R IEC 61851-1, Electric Vehicle Conductive Charging System - Part 1: General Requirements, International Electrotechnical Commission, Geneva, Switzerland, 2022.
- [5] Y. Yuan, X. Xu, Z. Yan, and J. Wen, "Electric Vehicle Supercharging: Developing Sustainable and Electrified Transportation Systems", IEEE Energy Sustainability Magazine, Vol. 1, No. 2, pp. 55-65, Aug. 2025. <https://doi.org/10.1109/ESM.2025.3583725>.
- [6] International Electrotechnical Commission, IEC 61851-23: Electric Vehicle Conductive Charging System - Part 23: DC Electric Vehicle Charging Station, IEC, Geneva, Switzerland, 2023.
- [7] International Electrotechnical Commission, IEC 62196-3-1: Plugs, socket-outlets, vehicle connectors and vehicle inlets - Conductive charging of electric vehicles - Part 3-1: Dimensional compatibility and interchangeability requirements for DC pin and contact-tube vehicle couplers, IEC, Geneva, Switzerland, 2023.
- [8] International Organization for Standardization, ISO 15118-2: Road vehicles — Vehicle to grid communication interface — Part 2: Network and application protocol requirements, ISO, Geneva, Switzerland, 2019.

- [9] S. Hamdare, D. J. Brown, Y. Cao, M. Aljaidi, O. Kaiwartya, R. Yadav, P. Vyas, and M. Jugran, "EV Charging Management and Security for Multi-Charging Stations Environment", IEEE Open Journal of Vehicular Technology, Vol. 5, pp. 807-824, 2024. <https://doi.org/10.1109/OJVT.2024.3418201>.

저자소개

서 우 현 (Woohyun Seo)



2004년 2월 : 연세대학교

전기전자공학과(공학사)

2010년 2월 : 연세대학교

전기전자공학과(공학박사)

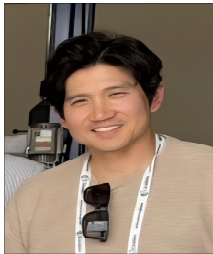
2011년 4월 ~ 현재 :

한국전기연구원 책임,

지능형에너지시험실장

관심분야 : 전기차 충전시스템, 적합성 평가, 상호운용성

장 기 성 (KiSung Chang)



2005년 2월 : 연세대학교

전기전자공학과(공학사)

2007년 2월 : 연세대학교

전기전자공학과(공학석사)

2011년 2월 : 연세대학교

전기전자공학과(공학박사)

2013년 1월 ~ 현재 :

한국전기연구원 책임

관심분야 : 전기차 충전시스템, 적합성 평가, 상호운용성