



전기자동차용 DC 급속 충전기에 대한 능동형 절연 제어 기능 연구 및 구현

김 경 진¹⁾ · 김 동 욱²⁾ · 황 준 식³⁾ · 박 덕 우⁴⁾

르노자동차코리아 파워트레인담당¹⁾ · 한국전지산업협회 연구기획²⁾ · 한국알박 충전인프라팀³⁾ · 한국기계전자시험연구원 계량검정센터⁴⁾

Research of EV DC Fast Charger Active Isolation Management System Control Method and Application

Kyoungjin Kim¹⁾ · Dongwook Kim²⁾ · Junsik Hwang³⁾ · Dukwoo Park⁴⁾

¹⁾Powertrain Engineering Department, Renault Samsung Motors, 61 Tapsil-ro, Giheung-gu, Yongin-si, Gyeonggi 17084, Korea

²⁾R&D Planning, Korea Battery Industry Association, 37 Baumoe-ro 37-gil, Seocho-gu, Seoul 06744, Korea

³⁾Charging Infra Team, ULVAC KOREA, 5 Hansan-gil, Cheongbuk-myeon, Pyeongtaek-si, Gyeonggi 17792, Korea

⁴⁾Convergent Measurement Center, Korea Testing Certification Institute, 55 Gungnae-ro, Bundang-gu, Seongnam-si, Gyeonggi 13550, Korea

(Received 25 October 2021 / Revised 6 December 2021 / Accepted 20 December 2021)

Abstract : In this paper, we propose an EV DC charger active isolation monitoring method and application. First, we analyze the status of the current commercial charger isolation method and problems associated with it, and then we apply the proposed method and functions. The proposed algorithms work pro-actively and detect insulation in accordance with the charging voltage system required by electric vehicles, also monitoring the insulation value throughout the charging process. This function is archived by the control logic and 3rd supervisor module(IMD). In addition, this isolation detection result can be transmitted in real time to electric vehicles and charger control centers for maintenance. Finally, we implemented the method to the CCS1 fast charger and evaluated with mass production EV. The result showed active control of charger and problems are detected effectively in real time. Standardization and certification are also being carried out.

Key words : Active isolation management system(능동형 절연 관리 시스템), IMD(절연 감지 모듈), CCS1(DC 콤보 1 충전), PLC(전기차 전력선 통신), EVSE(외부형 전기자동차충전기)

Subscripts

- AIMS : active isolation management system
- EVSE : electric vehicle supply equipment
- IMD : isolation(insulation) monitoring device
- CCS1 : combined charging system type 1
- RESS : rechargeable energy storage system
- IEC : international electrotechnical commission
- ISO : international organization of standardization
- DIN : deutsche industric normen

1. 서론

환경 정책 강화 및 배기가스 규제, COVID 19의 장기화로 인해 Global 자동차 산업계는 지속가능전환을 위해, 친환경 자동차생산, 비즈니스 모델 개발로 재편성이 되고 있다. 이 중 전기자동차로의 전동화 전환이 급격히 되고 있고, 이와 관련된 전기차 파워트레인, 구동 배터리 충전기술, 운전 보조기능(ADAS), 정보통신 기술의 융합으로 자동차는 이제 단순한 교통수단이 아닌, 환경보호와 운전자가 즐기는 공간으로 변화되어 가고 있다.

전기자동차는 재충전이 가능한 2차 고전압 배터리(RESS)를 사용해서 주행을 하는데, 이는 반드시 외부 전

*A part of this paper was presented at the KSAE 2021 Spring Conference.

*Corresponding author, E-mail: kyoungjin.kim@renault.com

[†]This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium provided the original work is properly cited.

기자동차충전기(EVSE)를 이용한 충전의 과정이 필요하다. 해당 충전 방식에는 AC 교류 충전 방식과, DC 직류 충전 방식이 있다. DC 충전은 높은 출력의 충전이 가능해서, 국내에서는 콤보1(CCS1) 규격의 충전기의 제조 및 설치가 공공인프라를 중심으로 이루어지고 있다. 또한 충전식 배터리를 이용한 에너지저장장치(ESS), 충전 응용 시스템, 배터리의 재활용 기술 개발과 사업화 실증, 표준개발도 활발하게 이루어지고 있다.

전기자동차 충전은 고전압을 사용하기 때문에 안전과 관련된 요구사항들이 IEC/ISO 국제 표준에 정의 및 관련된 인증을 요구하고 있다. 이 중에서도 사용자의 전기 감전, 전기적 쇼크와 기기 보호를 위해서 절연(Isolation/Insulation)에 관련된 요구사항이 유럽, 북미 시장은 매우 까다롭게 요구가 되고 있다.

반면 국내의 전기자동차 급속 충전기의 표준화된 절연 설계 요구사항과 인증 절차는 현재 상세히 정의되어 있지 않아서, 충전기 제조사의 자체 시스템 구현으로 주로 적용 및 관련 인증 시험절차는 미비한 편이다.

제안하는 본 논문은 DC 충전기 설계의 주요 표준인 IEC의 61851 시리즈 절차와 KSAE SAE 2847-2와 ISO 15118 전기차 전력선 충전 통신(PLC)을 기반으로, 능동형 절연 감지기능을 제공하는 제어 장치의 설계를 거쳐 양산형 충전기를 통한 구현, 전기차량을 통해 성능을 검증해 보고자 한다.

2. 전기차 충전기 절연시스템

2.1 DC 충전기의 절연 방식

현재 DC 충전기에 적용된 일반적인 절연 방식은 충전시작 전 충전기의 내부 회로를 통해 절연 저항 측정을 한다. 관련 표준에 의하면 절연 저항은 DC+/DC- 와 접지 사이 간 1 V 당 100 Ω 이상의 절연저항 값을 요구하고 있다. 현재 국내에서 제작되고 있는 충전기는 표준을 기반으로 1 V 전압 당 500 Ω 이상 절연(500 Ω/1 V) 단위로 전기차 충전기의 최대 출력 정격전압을 곱하여 자체적으로 검출하는 방식으로 감지를 한다. 이렇게 자체적인 검출로 운용하는 방식을 *Passive* 방식이라고 부른다. 즉, 감지된 절연 값이 한계치 이하로 감지가 되면 충전기는 경고 메시지를 전송 및 절연 저항이 최소 표준 기준인 100 Ω/1 V까지 떨어질 경우, 충전을 종료하도록 적용을 하고 있다. 해당 설계 방식의 단점은 전기차량과 연결 시, 차량 측의 DC 충전 장치의 입력부의 필터에 적용된 각종 필터로 인한 절연 값 저하 오 인식으로 인해, 일시적인 검출 오류 문제가 잠재해 있고, 일부 충전기 제조사는 충전 중의 절연 레벨 감지는 구현 방법이나 관련 로직 구현이 쉽지 않아서 기능을 적용하지 않는 경우가 있

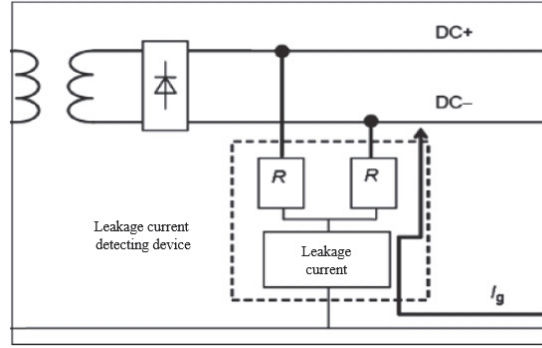


Fig. 1 Passive isolation detection method

다. 해당 검출 방식이 표준의 미 준수 및 안전인증 요구사항에 부적합하지는 않지만, 전기자동차의 충전은 운전자가 직접수행하기 때문에, 사용자의 안전과 충전의 실패를 줄일 필요가 있다. 즉, 충전기단에서 자체적인 절연 감지 기능 구현 보다는 객관적인 정확한 검출과, 유지 보수를 위한 정보의 제공을 위한 추가적인 제3자 기능의 절연 관리 방법이 필요하다. 이를 위해서 절연 관련 문제만을 감지 및 충전기에서 제어가 가능하게 할 수 있는 기능을 제공할 수 있는, IMD(Insulation/Isolation Monitoring Device)의 적용을 도출해 볼 수 있다. 이는 컴퓨터의 CPU가 처리하기 어려운 그래픽 처리를 외부 그래픽 처리장치(GPU)를 사용하는 방법과 유사 하다고 볼 수 있다.

2.2 국내 DC 충전기 절연 방식 적용 현황

해당 연구개발을 하면서 현재 국내의 DC 충전기 시장 현황과 주요 제조사별 충전기의 절연 방식에 대해서 조사를 해보았다. 국내의 충전인프라 설치 및 운영은 국가 기관 및 민간운영사를 중심으로 DC 충전 50 kW를 기본으로 해서 400 kW 출력의 급속 충전기가 다양하게 운영되고 있다. 국내 충전인프라는 전기차의 높은 보급과 더불어 상당히 대중화되어 있고, 제품 수준이 전 세계적 트렌드와 표준화에 따라서 맞추어 가고 있다. 현재 국내 제조사별 충전기의 절연 방식을 조사해 보면 다음과 같다.

모든 제조사는 자체 기능구현으로 간단히 검사하는 방식으로 검출을 하고 있는 것으로 조사가 되었다. 조사

Table 1 Isolation detecting methods

Maker	Before	Charging	Warning	Logic
U	Yes	Yes	No	No
D	Yes	Yes	No	No
A	Yes	Yes	No	No
B	Yes	No	No	No
C	Yes	No	No	No

된 충전기들은 기본적으로 충전 시작 전 절연 감지 기능이 적용이 되어 있다. 반면 충전 중 발생할 수 있는 절연 문제 감지에 대해서는 일부 제조사만 적용을 하였다. 절연 문제 발생 시 사용자, 운전자 및 충전 중인 전기 차량으로 보내는 경고 도출 기능과 DC 충전 절차 처리 표준 프로토콜 KSAE SAE 2847-2, ISO-15118, DIN SPEC 70121, IEC-61851 시리즈에서 정의된 충전기의 비상 정지 관련 절차 처리는 모두 구현되어 있지 않았다. 해외 제조사 충전기도 유사한 것으로 파악이 되었다. 즉, 단순하게 충전기의 공급 전력 차단 수준 정도로 반영이 되어 있다.

조사된 결과를 종합해 보면, 현재 충전기들은 절연 문제에 대한 효과적인 검출과 처리의 한계가 있고, 충전기 사용자, 전기차량과 실시간 적인 절차의 대응이 어려운 문제가 있다. 이로 인해 사용자의 안전 문제와 차량 측에서도 충전 전력 차단 및 사용자 보호 조치와 차량의 고전압 시스템을 보호할 수 있는 절차를 수행하는데 문제가 있음을 알 수 있었다.

해당 연구는 현재 충전기의 절연 방식의 문제를 바탕으로 능동적인 기능 반영 및 전기차 사용자에게 절연 문제의 인지와 추가적으로 차량의 고전압 시스템을 보호 및 최종적으로 신뢰성 있는 충전을 할 수 있도록 관련 기술 개발 연구 및 구현, 실제 검증의 단계를 수행하였다.

3. 능동형 절연 관리 시스템

본 연구에서 제안하는 전기자동차 DC 충전기의 능동형 절연 관리시스템은 이하 AIMS(Active Isolation Management System)¹⁴⁾라 명칭하기로 한다. AIMS는 능동적으로 전기자동차 충전기의 절연 상태를 대기상태, 충전시작 전, 충전 중에 실시간으로 DC 출력 단과 접지 간의 절연을 감지하고, 설정된 절연 수준 이상의 문제가 발생될 경우 사용자에게 시각적, 소리로 표현, 전달 및 충전 절차 표준 프로토콜 처리를 따르도록 구현을 하였다.

3.1 AIMS 제어 알고리즘

AIMS의 절연 감지 Process는 다음과 같이 구성이 되어 있다.

DC 급속충전기로서 3 가지의 상태로 상시 DC +/DC - 의 출력단자의 절연을 감시한다. 이때 절연 감시는 정확한 절연 측정값을 참조하기 위하여 별도의 IMD 모듈을 사용한다. IMD는 Bender사의 EV425 절연감지모듈과 AGH420 제어 유닛트를 적용하였다.

절연 감지 방법은 Standby, Startup, Charging 상태를 상시감지 하도록 충전기의 제어 보드에 구현을 했다. 절연

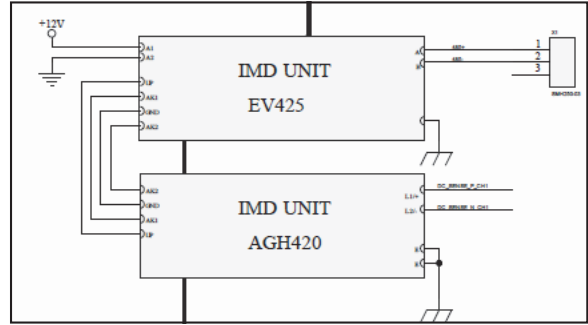


Fig. 2 Proposed IMD electric system

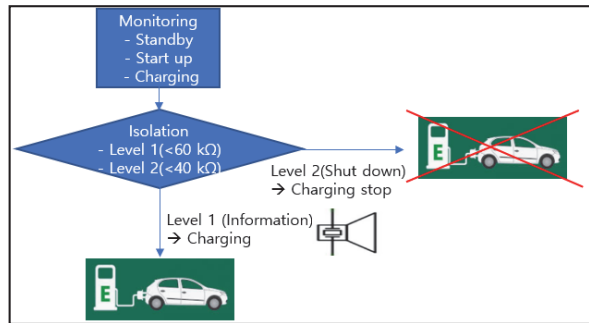


Fig. 3 AIMS control level

경고 레벨(Isolation warning)은 Level 1과 2의 임계 값으로 정의한다. Level 1은 충전은 진행하지만, 사용자에게 경고 알림을 한다. Level 2는 충전시작 중지 또는 충전 중 즉시 중지하는 제어 알고리즘으로 구현을 하였다. Level 1의 임계 값은 60 kΩ이하, Level 2의 임계 값은 40 kΩ이하로 설정하였다. 해당 임계 값은 전기자동차 구동배터리의 충전 전압에 따라, IEC 61851-23 과 ISO 17409 표준에서 정의하는 범위 내에서 설정할 수 있다. 해당 AIMS는 400 V 전기자동차 충전 전압을 기준으로 연구 및 구현을 하였다.

3.2 AIMS 전력선 통신 메시지 처리

전기자동차 DC 충전은 KSAE SAE 2847-2 및 IEC/ISO에 정의된 차량과 충전기간의 상호 메시지 교환 통한 Charging set up/Charging/End of charging 단계로 양 자간의 상호운용성 규약을 바탕으로 충전을 한다. 절연(Isolation/Insulation) 검출 및 관련 처리과정은 표준에서 정의된 EVSE Isolation Status 메시지 Type을 Valid 또는 Invalid로 실시간으로 메시지를 Fig. 4와 같이 충전기와 차량간 전달할 수 있도록 해당 관련 표준에 정의되어 있다.

제안하는 AIMS는 상시로 감지되는 절연관련 정보를 전기차량으로 전달한다. 절연의 문제가 있을 경우 절연

정보 메시지를 EVSE Isolation Status를 Invalid상태로 차량으로 전달해서 안전하게 충전의 종료를 하고, 충전기와 차량은 진단 에러 코드DTC(Diagnostic Trouble Codes)를 기록 및 사용자에게 전달해서, 추후 해당 충전소의 유지보수와 차량의 절연문제로 충전이 종료될 경우에도 사용자가 차량을 점검할 수 있도록 유도한다.

제안된 AIMS 가 반영된 충전기 시스템은 Fig. 5로 표현할 수 있다.

음영이 없는 부위는 일반적인 충전기를 구성하는 부

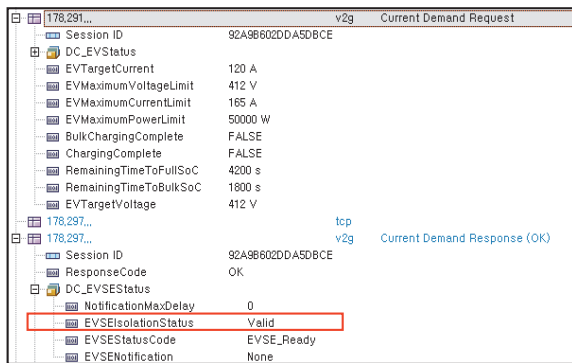


Fig. 4 PLC Isolation message exchange

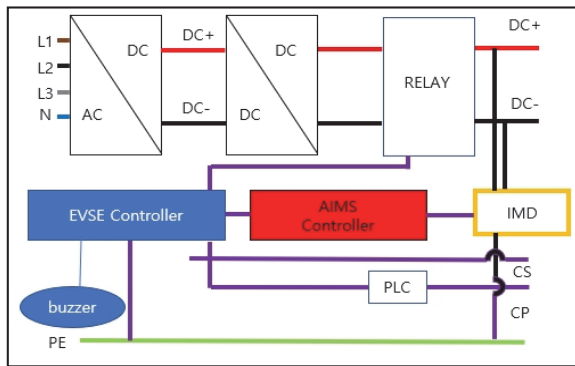


Fig. 5 DC charger with AIMS

Table 2 AIMS Unit

Part	Purpose
AIMS controller	Isolation controller supervisor
IMD	Isolation Monitoring Device
RELAY	Power control
CP	Control pilot EV and EVSE
PP	Charging plug detecting
PLC	Pilot Line communication
PE	Protective Earth, Ground
BUZZER	Warning

품으로서, AC/DC는 외부 입력 전원을 충전을 위한 DC 전력으로 변환을 하고, DC/DC는 차량의 충전 전압에 맞도록 평활화 작업을 수행한다.

하늘색의 EVSE Controller는 일반적인 충전관련 제어 작업을 수행한다. 적색의 AIMS Controller는 해당 논문에서 제안하는 IMD를 이용한 절연 감지 및 이와 관련된 모든 절차를 수행하는 H/W와 S/W로 구현되어 있다. 부가적인 절연 장치는 DC 전력 출력부의 +/- 극과 접지(PE) 간에 연결이 되어 있고, 절연 방식이 절연이 되어 있기 때문에 매우 정확하게 충전기와 충전 중에는 차량도 동시에 모니터링이 가능하다.

4. AIMS 성능 검증

4.1 성능 검증 조건 설정

AIMS의 시스템의 성능 검증을 위해서 양산형 DC 급속 충전기를 기반으로 제안하는 시스템을 이용해 구현 및 상호호환성 평가는 DC 충전 방식의 전기차량을 사용하였다. 평가 조건은 Table 3에 정의한다.

해당 차량과 충전기는 400 V level의 전압을 사용하므로, 절연 문제에 대한 충전기의 검출 단계는 2 개의 단계로 설정하였다. 충전기는 Warning 과 Stop 두 가지의 조치를 취할 수 있다. 이는 Table 4에 정의한다.

절연 감지 모듈 제원은 Table 5와 같다. 해당 절연 감지 모듈은 실시간 절연 감지 모듈 과 연산 처리 및 통신 기능, LCD Display를 가진 모듈로 구성이 된다. 또한 빠른 통신 속도로 충전기의 제어단으로 절연 관련 정보를

Table 3 Test conditions

Item	Specification
TEST EV	Renault ZOE 2021
Interface	DC COMBO 1
Charging voltage	400 V/DC
DC charger	Korea ULVAC
Max charging power	50 kW
IMD	Bender isoEV425
Protocol standard	ISO/IEC/DIN
Starting SOC	42 %
Temp (°C)	20
Measure tool	INCA, IOTECHA, CANoe

Table 4 Isolation level condition

Iso-resistance	Level	Idle	Charging
60 kΩ	Level 1	Warning	Warning
40 kΩ	Level 2	Stop	Stop

Table 5 Technical data

Definitions	Specification
Rated impulse voltage	4 kV
Rated insulated voltage	1,000 V
Response value	2~500 kΩ
Response time	≤ 10 s
Measured value insulation resistance	1 kΩ~1 MΩ
Interface/protocol	RS-485
Warning	LCD Display, LED
Operating uncertainty	± 5 %, at least ± 5 V
Baud rate	Iso data (115.2 kBits/s)
Ambient temperatures	-40~+70 °C



Fig. 6 IMD with AIMS System

전달할 수 있고, 작동 환경, 내구성도 산업용으로 사용하는데 상당히 신뢰성을 보장하는 제품이다. 해당 절연 모듈과 AIMS 충전 시스템을 구현한 시스템은 Fig. 6과 같다.

적용한 절연 감지 모듈은 실시간 감지와 동시에 LCD 창을 통해 절연 값을 표출할 수 있고, 충전기 제어부로 상위 데이터 통신이 가능하다.

절연레벨이 정상일 경우 IMD는 상시 1 MΩ을 지시한다.

4.2 절연 감지 평가

시험을 위해 선정된 차량은 DC 400 V 충전전압 및 최대 50 kW 충전 전력을 지원한다. 이를 기준으로 Level 1 60 kΩ Warning 과 Level 2 40 kΩ Charging stop으로 AIMS 제어 회로부와 충전 제어 프로토콜 S/W를 코딩 반영하였다. Level 1과 Level 2의 감지를 평가하기 위해서, 임의

누설을 만들기 위해 Level 1 60 kΩ 과 Level 2는 극한의 절연 파괴 조건으로 평가하기 위해 25 kΩ 시멘트 저항을 이용하여 DC +와 접지(PE)단에 연결해서 임의로 누설을 만들었다. 평가는 대기, 충전 중 조건으로 하였다.

절연 레벨에 대한 DC 충전 Protocol처리는 KSAE SAE 2847-2 및 IEC/ISO에 정의된 Message의 Current demand Res/Req의 세부 메시지 처리 절차를 기본으로 코딩을 하였다. 절차 표준은 절연 문제가 있을 경우 사용할 수 있는 EVSE Isolation Status 중 무효(Invalid)와 유효(Valid) 중 선택할 수 있도록 하였다. Invalid로 바꾸는 경우는 충전 중 절연 문제가 발생하였을 경우이다. 또한 해당 상태 선택 후 충전기는 종료를 위해서 충전기 상태 정보를 EVSE Shutdown으로 변경 후 전기자동차로 해당 상태를 보낸다. 이를 받은 차량은 내부 절연상태와 비교 후 DC 전력 출력단의 용착 검출 후 종료하게 된다.

통신 Protocol은 하기와 같이 프로그램 작업을 했다.

// DC_EVSE Status

EVSE Isolation Status: Invalid or Valid

EVSE Status Code: If **invalid** to EVSE_Shutdown

Send buzzer and fault code

// DC EV Status

Power delivery request (Power off) by EV

Check vehicle isolation fault

// DC EVSE Status

Power delivery response

// DC EV Status

Welding check Req/Res

// DC EVSE Status

Set to duty cycle 100 %

// Session stop

Control pilot Off : 0 V

End of charging

충전 중 절연 값 이상을 감지한 IMD는 즉시 관련 Data 정보를 AIMS로 전달하고, 이를 받은 충전시스템은 경고 음과 동시에 Fig. 7의 절차를 진행하였다.

IMD는 Fig. 8과 같이 Level 1, Level 2의 감지된 절연저항 값의 표기 및 LED 발광 알람을 진행하였다.

Invalid 메시지를 수신한 전기자동차는 동시에 차량 측의 시스템의 절연 감지 값과 비교 후, 이상 없음으로 판단 후, Fig. 9와 같이 충전 전류를 즉시 100 A에서 0 A로 강하 후 충전기와 상호 메시지 교환 협의 후 정상충전 종료를 하였다.

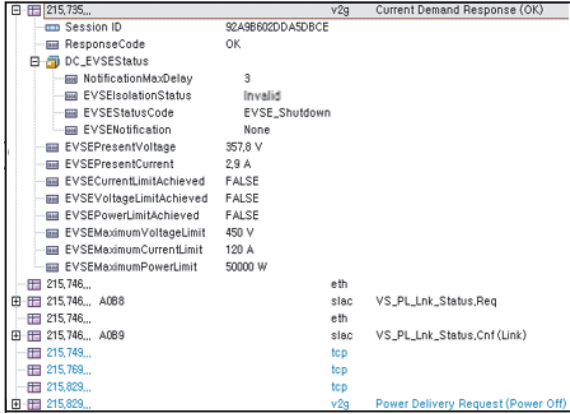


Fig. 7 Isolation detecting and stop sequence

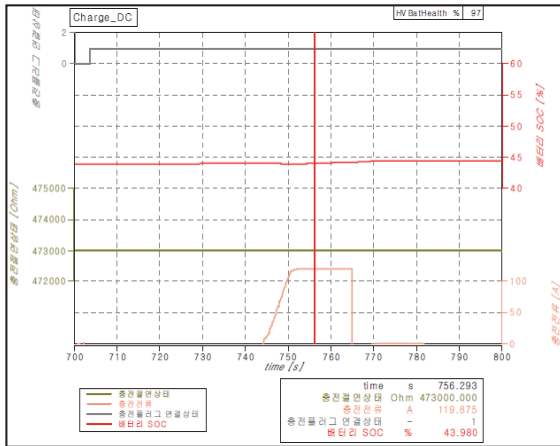


Fig. 8 Level 1, level 2 isolation level warning

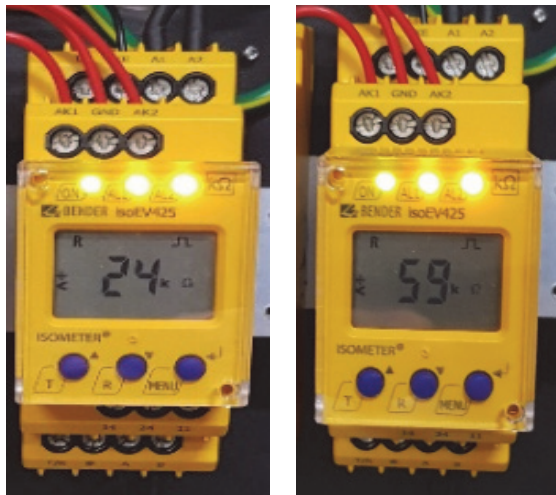


Fig. 9 Vehicle charging stop process

5. 결론

본 연구에서는 전기자동차 충전용 DC 급속 충전기의 절연 감지 기능에 대해 충전기의 자체의 수동형 감지 방식이 아닌, 객관적인 감지를 위해 제3의 전용 절연 감지의 기능 구현 및 이를 감지했을 경우 능동적으로 처리할 수 있는 AIMS의 설계 및 검증은 수행하였다.

AIMS는 충전 전압 레벨에 맞추어 설정된 절연과피 레벨을 정확하게 전용 검출장치를 통해 파악 및 사용자에게 경고 및 차량과 실시간 통신을 통해서 충전 종료까지 오류 없이 종료가 되었고, 전기차 사용자는 안전하게 충전 플러그를 차량에서 해제를 할 수 있었다. 또한 충전기와 OCPP 프로토콜을 이용한 상위간 충전인프라 관리시스템을 통해 정보 전달까지 가능해서, 즉시 충전소의 문제를 감지 및 점검을 수행할 수 있다.

AIMS 절연 검출 시스템의 다양한 검증 및 응용을 위해서 운용중인 충전기와 ESS, 전기차 배터리 재사용 응용 제품 군에도 적용을 할 수 있도록 Uni/Kit 화 설계와 신규 설계 생산되는 충전기에 기본적인 반영이 될 수 있도록 관련 제조사들과 협업 및 국가 표준, 인증요구사항에 반영이 될 수 있도록 표준화 기관과 진행 중이다.

후 기

해당 논문은 21년도 한국자동차공학회 춘계학술대회의 우수논문 수상 및 시스템 개선, 최신 표준화 기술 반영을 통해 재 집필하였습니다.

시스템 구현 및 검증, 인증제도 검토를 지원해 주신 제조사 및 관계 기관에 감사드립니다.

References

- 1) SAE, SAE J1772, SAE Electric Vehicle and Plug in Hybrid Electric Vehicle Conductive Charger Coupler, 2009.
- 2) IEC, IEC 61851-1, Electric Vehicle Conductive Charging System – Part 1: General Requirements, Ed 3.0. 2017.
- 3) IEC, IEC 61851-23, Electric Vehicle Conductive Charging System – Part 23: DC Electric Vehicle Charging System, 2014.
- 4) Bender, GmbH, <http://www.bender.de>. EV425, 2017.
- 5) ISO, ISO 17409, Electrically Propelled Road Vehicles — Conductive Power Transfer — Safety Requirements, 2020.
- 6) ISO, ISO 15118-2, Road Vehicles — Vehicle-to-Grid Communication Interface — Part 2: Network and Application Protocol Requirements,

- 2014.
- 7) DIN, DIN SPEC 70121, Digital Communication Control of d.c. Charging in the Combined Charging System, 2017.
 - 8) KSAE SAE 2847-2: Communication Between Plug-In Vehicles and Off-Board DC Chargers, 2020.
 - 9) ISO, ISO 15118-3, Road vehicles — Vehicle-to-Grid Communication Interface — Part 3: Physical and Data Link Layer Requirements, 2015.
 - 10) KS R 1202-1: Electric Vehicle Charging Infrastructure Management System-1, 2018.
 - 11) IEC 63110 Ed1, Protocol for Management of EV Charging and Discharging Infrastructures, 2017.
 - 12) DIN EN 61557-8 (VDE 0413-8):2015-12/Ver1: 2016-12 Electrical safety in Low Voltage Distribution Systems Up to 1000 V AC and 1500 V DC— Equipment for Testing, Measuring or Monitoring of Protective Measures, 2014.
 - 13) IEC 61557-8 -8:2014/COR1: 2016, Electrical Safety in Low Voltage Distribution Systems up to 1 000V AC and 1 500 V DC, 2014.
 - 14) K. Kim, H. Jung, D. Park and H. Ko, “Research of EV DC Charger Isolation Monitoring Method and Application,” KSAE Spring Conference Proceedings, pp.751-756, 2021.