

# 친환경자동차 및 전기자동차 전원공급설비의 안전 확보를 위한 기준 분석

한국전기안전공사 전기연구원 화재감전연구부 연구원

## 1. 서론

세계적으로 환경오염을 줄이기 위한 규제가 강화되고 있으며, 우리나라에서도 저탄소 녹색성장 전략으로 지구 온난화, 산성비, 오존층 파괴 등 지구 대기오염의 주원인인 화석연료자동차 배기가스 감축을 위한 친환경자동차인 하이브리드자동차(HEV; Hybrid Electric Vehicle)의 개발 및 보급을 시작으로 전기자동차(EV; Electric Vehicle), 플러그인 하이브리드자동차(PHEV; Plug-in Hybrid Electric Vehicle), 연료전지자동차(FCV; Fuel Cell Vehicle) 등을 개발하고 있다.

친환경자동차는 기존의 내연기관 자동차(ICV: Internal Combustion Vehicle)와는 달리 전기에너지에 의한 모터를 동력으로 사용한다. 모터를 동력으로 사용하는 친환경 자동차의 에너지 사용효율은 내연기관 자동차에 비하여 우수하다고 알려져 있으며, 환경오염의 주범인 온실가스 배출이 약 40% 이상 절감되기 때문에 국내·외적으로 전기에너지를 동력원으로 사용하는 자동차의 개발과 보급이 활발하게 진행되고 있다. 이처럼 에너지 효율증대와 환경보호를 위한 전기에너지를 동력원으로 하는 친환경자동차의 성능 극대화를 위하여 배터리 기술이 날로 발전하고 있으며, 배터리 기술의 발전에 따라 순수 전기자동차의 개발 및 보급이 점차 현실화되고 있다. 또한, 차량에 전기에너지를 공급하기 위한 충전전원 공급설비(충전인프라) 구축을 위한 기술개발이 진행되고 있으며 이는 전기에너지를 기반으로 하는 친환경자동차의 보급에 필수적인 요소가 되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 친환경자동차인 전기자동차의 보급에 필수적인 기반요소라 할 수 있는 전기자동차 충전전원 공급설비에 대한 안전 확보를 위하여 자동차의 전기안전과 충전전원 공급설비에 대한 기준 및 표준 등의 분석을 실시하였으며, 전 세계적인 기후변화 대응과 우리나라의 저탄소 녹색성장 정책에 부응하기 위한 스마트그리드 산업의 활성화에 기여하고자 한다.

## 2. 친환경자동차의 분류

### 2.1 에너지 저장시스템에 따른 분류

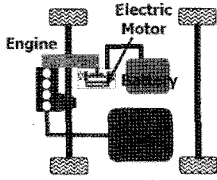
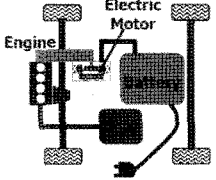
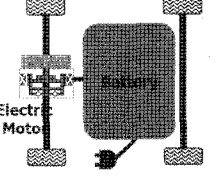
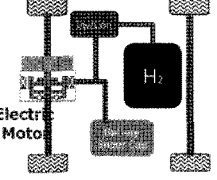
친환경자동차는 지식경제부의 환경친화적 자동차의 보급 및 촉진에 관한 법률에서 전기자동차, 태양광자동차, 하이브리드 자동차 또는 연료전지자동차로서 에너지 소비효율이 지식경제부령에서 정한 기준에 적합하고, 대기환경보전법에 따른 무공해·저공해 자동차에 해당하는 자동차로 정의하고 있다.

친환경자동차는 [표 1]에 나타난 것과 같이 배터리에 의해 전기에너지에 의한 모터를 동력원으로 사용하는 전기자동차와 내연기관과 전기에너지에 의한 모터를 동력원을 이용하는 하이브리드 자동차, 연료전지시스템에서 전기를 생산하여 전기 동력을 이용하는 수소연료전지자동차로 분류할 수 있다.

최근 상용화된 하이브리드자동차는 내연기관 엔진과 배터리에 저장된 전기에너지를 이용한 모터를 구동 동력원으로 사용하는 자동차로서 상용화된 대표 모델로는 현대자동차의 아반떼, 도요타의 프리우스, 혼다의 인사이트 등이 있다. 하이브리드자동차는 모델에 따라 순수 EV 모드로 운행 가능한 모델과 내연기관의 보조 동력원으로 운행되는 모델로 나눌 수 있다. 플러그인 하이브리드자동차는 기존의 하이브리드자동차에 외부의 상용전원에서 충전이 가능한 것을 말하며, 하이브리드자동차보다 배터리 용량을 키워 순수 EV 모드로 운행 가능한 주행 거리를 증대시킨 자동차를 말한다.

전기자동차는 배터리에 충전된 전기에너지를 이용하여 모터를 구동하여 운행하는 자동차를 말하며, 일반 승용차와 같은 전기자동차와 시속 60[km] 이하의 저속으로 달리는 단거리 주행용 저속전기자동차(NEV: Neighborhood Electric Vehicle), 주행 및 정차 중 도로에 설치된 급전라인으로부터 전력을 공급받아 운행하는 무선 충전 방식의 온라인전기자동차(OLEV: On-line Electric Vehicle)가 있다.

[표 1] 에너지 저장시스템에 따른 친환경자동차의 분류

구조				
사용동력	엔진+전기모터	엔진+전기모터	전기모터	전기모터
주입연료	화석연료	화석연료+전기	전기	H2(수소가스)
Battery	Ni-MH (니켈-메탈하라이드)	Li 계열 (리튬 폴리머)	Li 계열 (리튬 폴리머)	Li 계열 or 슈퍼커패시터

수소자동차는 수소에너지를 이용하여 구동에너지로 사용하는 자동차로서 기존의 화석연료 대신 내연기관에서 수소의 폭발에너지를 사용하는 수소내연기관자동차와 수소와 산소의 화학적 반응에서 발생하는 전기에너지를 이용하여 구동하는 수소연료전지자동차로 나눌 수 있다.

## 2.2 전기에너지 충전방식에 따른 분류

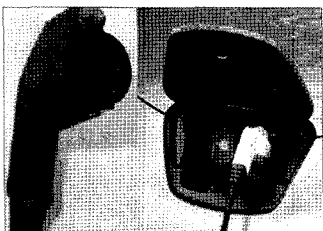
친환경자동차의 전기에너지를 충전하는 방법은 하이브리드 자동차의 경우 주행중 제동시 발생하는 에너지를 전기에너지로 변환하는 회생제동을 이용한 배터리 충전방식과 전기자동차와 플러그인 하이브리드자동차와 같은 외부 전원으로 충전하는 방식으로 구분할 수 있다.

외부에서 전원을 인가하여 충전하는 방법에는 [그림 1]과 같은 직접접촉식 충전시스템과 [그림 2]와 같은 비접촉식 충전 시스템이 있다. 그 밖에 충전시간을 단축하고 사용자의 편리성을 도모하기 위한 배터리 교환방식이 있다.

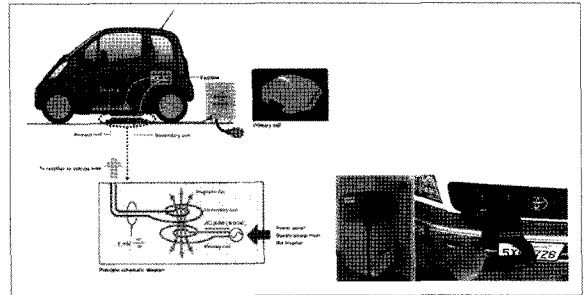
## 3. 전기안전 관련 국내·외 규정 분석

### 3.1 친환경자동차 관련 규정 분석

기존의 내연기관 자동차는 휘발유, 경유, LPG 등 화석연료의 연소가 기관의 내부에서 이루어져 열에너지를 기계적 에너지로 변환하여 동력원으로 하는 자동차로 전기에너지를 구동에너지로는 이용하지 않고 조명 및 제어전원 등으로만 이용해왔기



[그림 1] 직접접촉식 충전시스템



[그림 2] 비접촉식 충전시스템

때문에 주로 DC 12[V] 또는 DC 24[V]의 전기에너지를 이용하여 감전의 위험성이 적다고 할 수 있다.

그러나, 친환경자동차는 전기에너지를 기준과 같이 조명 및 제어전원뿐만 아니라 구동에너지로 이용하기 때문에 높은 전압과 전류를 사용함으로써 감전사고의 위험성이 존재하기 때문에 자동차에서 발생할 수 있는 감전사고 예방을 위하여 고전원 전기장치(구동축전지, 전력변환장치, 구동전동기, 고전원 전기배선)에 대한 안전 기준 및 규정의 제정이 진행되고 있다.

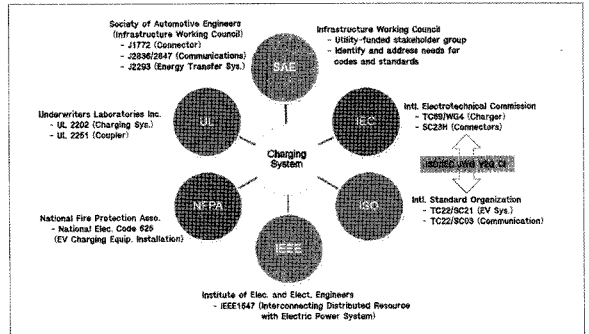
국외의 경우 UN/ECE/WP29를 중심으로 규정의 제정이 진행 중에 있으며, 특히 전기안전의 경우 UN/ECE/GRSP/ELSA를 중심으로 주행시 및 충돌시 자동차의 인체 감전보호 및 전기화재 예방을 위한 규정을 제정 중에 있다. 이러한 국제 기준인 UN/ECE/WP29 이외의 미국의 경우 FMVSS와 SAE 등에서, 유럽의 경우 IEC 표준 제정을 통하여, 그 외에 ISO에서도 자동차 관련 전기안전에 관한 규정을 제정하여 각국에서 참고하도록 하고 있다. UN/ECE/GRSP/ELSA의 주요내용은 [표 2]에 간략하게 나타냈다.

### 3.2 전기자동차 전원공급설비 관련 규정 분석

전기자동차의 배터리를 충전하기 위한 전원공급설비에 관한

국내·외 규정은 전 세계적으로 현재 표준화가 진행 중에 있다. 전기자동차 전원공급설비가 포함된 충전인프라에 대한 표준화는 [그림 3]에 나타난 것처럼 미국, 독일, 일본 등을 중심으로 IEC 및 ISO 등 국제 표준화기구와 미국자동차공학회(SAE), 일본 자동차연구소(JARI) 등의 자동차관련 기관을 통하여 진행되고 있다. 전기자동차 충전인프라의 표준화는 배터리, 전기자동차, 충전기 및 스마트그리드와 연동 등 다양한 부분에서 요구되고 있는 실정이다.

또한, ISO에서는 전기자동차의 성능, 안전성과 관련된 국제표준을 주로 개발하고 있으며, IEC에서는 2차전지 셀, 충전시스템 등



[그림 3] 충전시스템관련 국제 표준 동향

[표 2] 친환경자동차의 고전압 전기안전 규정 주요내용

● 용어 정의

- 고전압(High Voltage) : 최대 동작전압이 직류 60V 이상 1500V 미만 (또는 교류 30V 이상 1000V 미만인 전기장치 또는 회로

● 직접 접촉에 대한 감전보호

- 보호물(고체 절연체, 전기적 보호 격벽, 외함 등)은 공구를 이용하여 열거나 분해하거나 제거되어야 함

- 승객실이나 화물실 내의 충전부의 보호는 IPXXD급의 보호를 만족해야 함

- 승객실 및 화물실 이외 곳에서의 충전부 보호는 IPXXB급의 보호를 만족해야 함

● 간접 접촉에 대한 감전보호

- (전기적 접촉) 간접접촉에 의한 감전사고의 보호를 위하여 노출도 전부(도전체의 전기적 격벽, 외함 등)는 전기적으로 전기적재시와 연결하여 위험전위가 발생하지 않도록 해야함

- (전기적 연속성) 노출도전부와 전기적재시 사이의 전기저항은 최소 0.2A의 시험전류에서 0.1Ω 이하여야 함

● 절연저항

- 고전압버스와 전기적재시 사이의 절연저항은 AC 고전압버스의 경우 작동전압의 최소 500Ω/V, DC 고전압버스는 최소 100Ω/V 이상이어야 함

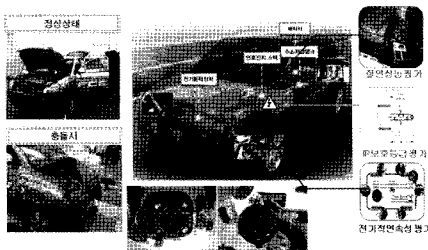
- 수소연료전지자동차의 경우, DC 고전압버스는 100Ω/V 이하로 절연저항이 내려갔을 때 경보하는 절연저항 모니터링 시스템을 장착해야 함

● 커넥터

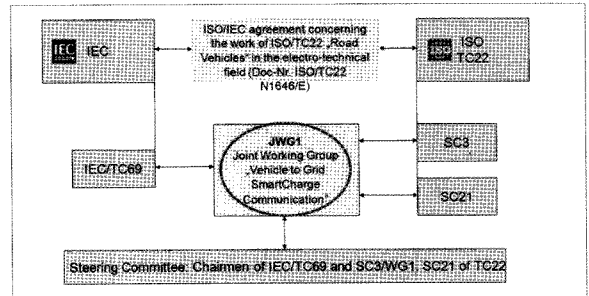
- 고전압 커넥터는 도구없이 분리되지 않고, 충전부와 분리시 1초 이내에 DC 60V, AC 30V 이하가 되어야 함

● 고전압 케이블

- 외함 내부에 있지 않은 고전압 케이블은 오렌지 색 커버(피복)로 구분되어야 함



(친환경자동차의 전기안전성 주요 평가 요소)



[그림 4] ISO/IEC 전기자동차 표준화 조직

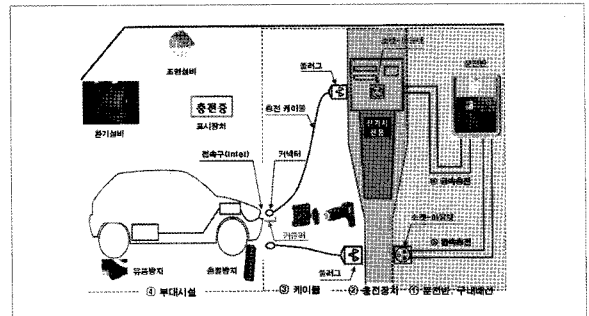
전기적 부품과 관련된 표준을 주로 담당하여 개발하고 있다. ISO와 IEC의 전기자동차관련 표준화 조직은 [그림 4]에 나타났다.

## 4. 전기자동차 전원공급설비

### 4.1 전기자동차 충전전원 공급설비의 구성

전기자동차 충전전원 공급설비는 그림 5에 나타난 것과 같이 분전반, 구내배선 등의 전로와 충전장치(급속, 완속, 홈 충전장치 등), 충전케이블, 커넥터, 플러그 등과 같은 케이블 및 부속품, 부대시설로 크게 4개 분야로 구분할 수 있다.

국내의 전기자동차 충전전원 공급설비에 대한 관련 기준은 전기설비기술기준 제53조의2와 전기설비기술기준의 판단기준 제286조에 전기안전을 위한 기본 요건에 대한 충족여부를 판단하는 기준이 명시되어 있다[4-6]. 또한, KS C IEC



[그림 5] 전기자동차 충전전원 공급설비의 구성

61851-1에서는 1,000V 이하의 표준 교류 전원전압과 1,500V 이하의 직류 전압을 이용하여 전기자동차를 충전하는 장치에 대하여 안전과 성능을 위한 일반요구사항이 명시되어 있다.

#### 4.2 전기자동차 충전전원 공급설비의 안전성 확보를 위한 기준 분석

전기자동차 충전전원 공급설비의 안전성 확보를 위한 전기설비기술기준의 판단기준은 제8장 제286조에 제1항부터 제4항까지 전로, 충전장치, 충전케이블 및 부속품, 충전장치의 부대설비로 구분하여 제정하고 있다. 전기설비기술기준의 판단기준 이외에 KS C IEC 61851-1, 61851-21, 61851-22와 NEC Article 625항 등의 충전인프라 관련 기준 및 규격과 ECE R 100 및 ISO, SAE 등 자동차 관련 기준 분석을 통하여 현행 전기설비기술기준의 판단기준에 명기된 내용 이외의 안전성 확보를 위한 방안을 도출하였다.

- ① 전기자동차 전원공급설비는 충전을 위한 불특정 다수가 직접 사용하는 시설이므로 위험표시와 전기자동차 충전장치임을 쉽게 보이는 곳에 표시하여 감전사고를 예방해야 한다.
- ② 전기자동차 충전장치에 부착된 케이블은 안전한 유지관리 및 케이블의 손상 방지를 위하여 충전케이블을 거치할 수 있는 거치대 또는 수납공간이 있어야 한다.
  - 거치대 또는 수납공간은 케이블의 손상 방지와 침수, 물 튀김 등 경우의 물기가 내부로 유입되는 것을 방지하기 위하여 옥내의 경우 45cm 이상, 옥외의 경우 60cm 이상 위치해야 한다.
  - 케이블 인출 위치는 소켓 아울렛의 최저 높이는 지면으로부터 0.9~1.3m에 위치해야 하며, 특별한 환경조건의 경우, 최대 1.3m를 초과하지 않아야 한다.
  - 충전케이블의 경우 충전장치와 전기자동차 접속을 위한 전용의 충전케이블을 사용하여야 하며 직접적인 접촉 또는 위험한 부품들(과부하 위험, 보호도체의 결핍 등)의 위험한 사용을 피하고 절연성능 확보 등을 위하여 연장코드를 사용해서는 안되며, 길이는 자동차 인렛의 위치 및 자동차의 길이, 폭 등의 서비스를 위한 기준과 충전케이블의 전압강하를 고려하여 7.5m 이내여야 한다.
  - 충전케이블과 전기자동차를 접속 가능하게 하는 장치인 커플러는 충전케이블에 부착된 커넥터와 전기자동차의 인렛 두 부분으로 구성되며, 커플러는 전용의 것을 사용해야 하며 대체 불가능한 구조로 되어 있어야 한다.
  - 커플러는 인체 감전보호를 위하여 접지극이 있는 커플러로서 전원 투입시 접지극이 먼저 접속되고 차단시

나중에 분리되는 구조를 가져야 한다. 또한, 의도하지 않은 부하의 차단을 방지하기 위한 잠금장치 또는 탈부착을 위한 기계적 장치가 있어야 한다.

- 커플러는 이상과 같은 구조적 보호요건 외에도 UN/ECE/GRSP/ELSA에서는 감전사고 예방을 위하여 충전전원으로부터 전기자동차가 단로되면 1초 후에 접촉할 수 있는 도전부 사이 또는 접촉할 수 있는 도전부와 접지간의 전압은 42.4V 피크 또는 60VDC 이하로 되는 성능적 보호요건도 만족하도록 하고 있다.
- 부대설비로 충전장치의 보호대 및 차량 멈춤턱, 유동방치장치 등을 시설하여 충전설비의 외부 충격으로부터 사고가 발생하는 것을 보호해야 한다.

### 5. 결론

본 연구에서는 친환경자동차 및 전기자동차 충전전원 공급설비와 관련된 법, 기준, 표준, 지침 등을 분석하였다. 현재 제정된 전기설비기술기준 및 판단기준에 언급된 적용범위, 배선기구의 시설기준, 접지 시설기준 등에 대한 분석과 IEC, NEC 등의 관련 조항 분석을 통하여 불특정 다수가 사용하는 전기시설에 대한 안전성 확보 방안에 대하여 간략하게 언급하였다.

또한, 전기설비기술기준 및 판단기준을 제외한 나머지 관련 기준 및 규격에 대한 제정은 현재 진행중에 있는 것으로 조사되었다. KS의 경우 일부 IEC 부합화하여 제정되었지만, 일부는 제정이 진행중에 있으며, 현행 국내 전기용품 안전인증제도는 교류전원 50~1000V 이하 정격입력 10kW 이하인 것으로 규정되어 있기 때문에 급속 전기자동차 충전기는 전기용품안전인증의 인증 대상 기기에 불포함되어 있는 실정으로 현재 전기용품안전관리법 시행령 및 시행규칙을 일부 개정하여 100kW 이하의 전기자동차용 충전기에 대한 인증이 가능하도록 추진중에 있다.

이와 같이 우리나라의 실정에 맞는 전기자동차 충전전원 공급설비에 대한 안전성 확보를 위한 연구와 관련 기준 및 표준 제정을 통하여 향후 새롭게 부각되는 V2G/G2V 등 전기자동차 전원공급설비와 관련된 기술의 발전 및 안전성 확보에 대한 연구가 이루어져야 할 것이다. ❖

#### 참고문헌

- [1] 김동기, '하이브리드 전기자동차의 전기동력기술', 전기의 세계 제 54권 제 5호, pp.26-34, 2005.
- [2] 이현동 외, '전기 하이브리드 및 연료전지 자동차의 향후 동향', 전기학회지 제 49권 5호, pp.4-10, 2000.
- [3] 이기연 외 4, '하이브리드자동차의 전기력 특성분석에 관한 연구', 대한전기학회 전기설비전문위원회 추계학술대회 논문집, pp.140-145, 2003.
- [4] 강성민, '전기자동차 전원공급설비 기술기준기술기준', 대한전기학회 전기설비전문회 추계학술대회, pp.557-570, 2010.
- [5] 지석영태부, '전기설비기술기준', 제43호, 2010.
- [6] 지석영태부, '전기설비기술기준의 판단기준', 제32호, 2010.
- [7] 이기연 외 3, '전기자동차 충전전원 공급설비의 안전성 확보를 위한 기준 연구', 대한전기학회 하계 학술대회 논문집, pp.2149-2149, 2011.