

하이브리드자동차의 전기적 연속성 측정 방법에 관한 연구

김항곤\*, 길형준\*, 문현욱\*, 최충석\*\*, 최효상\*\*  
 한국전기안전공사 전기안전연구원\*, 전주대학교\*\*, 조선대학교\*\*

Study on the Measuring Methods of Electric Continuity of Hybrid Electric Vehicle

Hyang-Kon Kim\*, Hyoung-Jun Gil\*, Hyun-Wook Moon\*, Chung-Seog Choi\*\*, Hyo-Sang Choi\*\*  
 Electrical Safety Research Institute(subsidiary of KESCO)\*, Jeonju University\*\*, Chosun University\*\*

**Abstract** - 본 논문에서는 하이브리드자동차(hybrid vehicle)의 고전원 전기장치 및 전기배선 충전부의 인체 접촉에 의한 감전사고의 예방을 위한 전기적 연속성의 측정방법에 대하여 논하였다. 인체 감전 보호를 위한 기본 대책으로 충전부의 기본절연, 충전부 집근에 대한 보호(배리어, 인클로저 등)가 있다. 하이브리드자동차의 전기적 연속성과 관련된 시험방법은 UNECE, ISO, Japan Attachment 등에서 언급하고 있다. 이들 기준에서 전기적 연속성은 0.1Ω 이하를 유지하도록 하고 있다. 본 연구에서는 하이브리드자동차의 전기적 연속성 측정 방법이 있어 외국의 기준과 규격의 내용을 검토하고 전기적 연속성 측정방법을 제시하고자 한다.

1. 서 론

환경오염에 대한 국제적 관심이 고조되고 있으며 이에 대한 규제가 강화되고 있는 추세에 있다. 각국에서 환경오염의 저감을 위한 다양한 방안을 강구하고 있으며 이러한 대책의 일환으로 신재생에너지나 환경친화 기술의 개발에 박차를 가하고 있다. 대도시 대기오염의 주원인인 자동차이다. 최근 자동차 산업에 있어서도 환경 친화적인 자동차에 대한 기술개발과 생산이 진행 중에 있으며 이미 일부 제품은 상용화되어 시장에 보급되고 있다. 우리나라에서도 하이브리드자동차를 개발하여 환경공서와 공공기관을 중심으로 보급, 운행되고 있으며 이의 생산과 보급도 계속 확대될 전망이다. 또한, 몇 년 이내에 외국의 하이브리드자동차 등 친환경자동차가 국내에 수입되어 실제 운행에 들어갈 것으로 예상된다.

현재 국내 하이브리드자동차 및 전기자동차에 대한 안전기준은 제정되어 있지 않은 상태이며[1], 하이브리드자동차의 안전성과 안전기준의 제정을 위한 연구가 수행중이다[2]. 조만간 하이브리드자동차의 안전에 대한 기준이 정해질 것으로 전망된다. 물론 이 안전기준에는 기존의 전기장치에 관한 기준 항목 이외에 고전원 전기장치의 안전에 대한 내용이 새로 추가될 것이며 이에 대한 구체적인 적용 방법 등이 제시될 것이다.

본 논문에서는 내연기관(엔진)과 축전지(배터리)를 조합한 하이브리드 자동차의 고전원 전기장치의 인체 접촉에 의한 감전보호를 위한 방안으로 제시되고 있는 전기적 연속성에 대한 각 기준의 비교 분석과 더불어 현장 실측을 통하여 기준 제정 후의 발생 가능한 문제점과 해결 방안에 대하여 논하고자 한다.

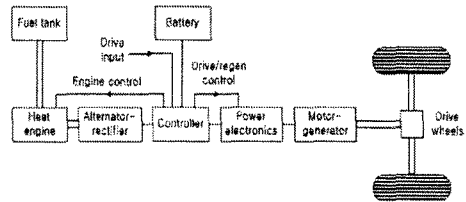
본 연구결과는 향후 하이브리드자동차의 고전원 전기장치로부터의 인체 안전을 확보 하는데 도움이 될 것으로 판단된다.

2. 하이브리드자동차의 구조 및 기준 분석

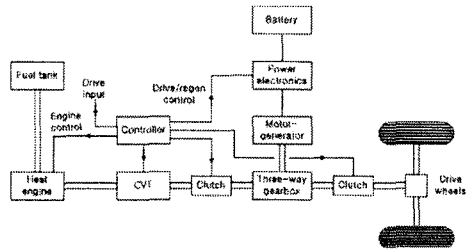
2.1 하이브리드자동차의 구조

하이브리드자동차는 서로 다른 두 종류 이상의 동력원을 조합하여 차량을 구동하는 것을 의미한다. 대부분의 경우 연료를 사용하여 동력을 얻는 내연기관(엔진)과 전기로 구동시키는 전기모터로 구성된 시스템을 말한다. HEV는 동력의 전달방식에 따라 직렬(series)형과 병렬(parallel)형으로 구분되며, 직렬형과 병렬형의 두 가지 기능을 동시 병용하는 직·병렬형(split 방식)은 동력 배분을 극대화시킨 방식으로 차량 동력성능이 기존 하이브리드 차량에 비해 향상되었고 높은 시스템 효율을 얻을 수 있으며 배기가스 저감이 용이하다는 장점을 갖고 있으나 고난도의 제어 기술이 필요하다.

그림 1은 직렬형 HEV와 병렬형 HEV의 동력전달 체계를 나타낸 것이다. 직렬형 HEV는 엔진과 항상 결합되어 있는 발전기를 통해 얻어진 전기가 축전지 시스템과 전동기에 공급되고, 차량은 전동기에서 발생하는 동력만을 이용하여 주행하는 구조로 이루어져 있다. 병렬형 HEV는 기존의 차량과 같이 휠과 엔진뿐만 아니라 휠과 전동기가 기계적으로 연결되어 있어 차량의 구동은 주로 엔진의 동력을 이용하여 이루어지나 일정 동력을 전동기가 보조해주는 방식이다.



(a) 직렬형 HEV의 동력전달 체계



(b) 병렬형 HEV의 동력전달 체계

<그림 1> 하이브리드 자동차의 동력전달 체계 비교

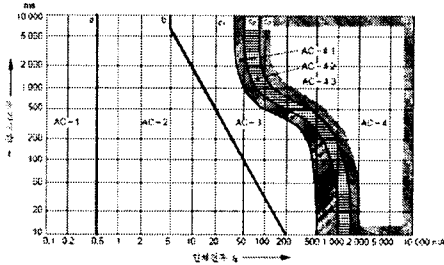
2.2 HEV의 전기적 연속성에 관한 기준 분석

2.2.1 인체 감전 보호에 대한 규격의 분석

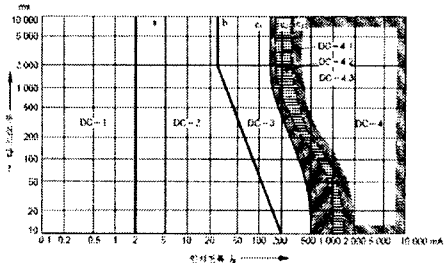
그림 2는 IEC 60479-1(인체와 가속에 대한 전류의 영향 - 제1부-일반적인 앙상, 2007)의 인체 통전전류의 크기와 통전시간에 따른 인체의 반응을 나타낸 그래프이다[3]. 그림 2(a)는 교류(15~100Hz)에서 손에서 양팔로의 통전경로일 때의 특성을 나타낸 것으로 AC-1 영역은 0.5mA(곡선 a)까지의 영역으로 전류 감지는 가능하나 놀라는 반응은 아닌 영역이며, AC-2는 0.5mA에서 곡선 b까지의 영역으로 전류의 감지 및 비자의적인 근육수축이 발생할 수 있으나 일반적으로 유해한 전기 생리적인 영향은 없는 영역이다. AC-3은 곡선 b와 곡선 c사이의 영역으로 강한 비자의적인 근육의 수축과 호흡 곤란, 회복 가능한 심장 기능의 장애, 마비 등이 발생할 수 있다. 또한 전류의 크기가 증가함에 따라 이에 의한 인체 영향이 커지며 일반적으로 신체 기관의 손상은 예측되지 않는다.

그림 2(b)는 맥동이 없는 직류에서의 인체 영향을 나타낸 것이다. DC-1은 2mA(곡선 a)까지의 영역으로 전류의 흐름, 차단 또는 갑작스런 전류 방향의 전환시 가능한 약간 따끔한 감각을 느낀다. DC-2는 2mA(곡선 a)에서 곡선 b의 영역으로 전류의 인가, 차단 또는 갑작스런 전류의 흐름의 방향을 바꿀 때 비자의적인 근육 수축이 일어날 수 있으나 일반적으로 전기 생리학적으로 해롭지 않은 영역이다. DC-3의 곡선 b에서 곡선 c사이의 영역에서는 강한 비자의적인 반응과 전류의 크기 및 시간이 증가함에 따라 심각한 회복 가능한 기능 장애 및 마비의 전도 가능 일어날 수 있다. 일반적으로 신체 기관의 손상은 예측되지 않는다.

AC 전원의 경우, 인체 생리학적으로 이상이 없는 전류 범위는 AC-2 임을 알 수 있으며 지속적으로 전류가 흐르더라도 안전한 전류 범위는 최대 2mA임을 알 수 있다. 또한, DC 전원의 경우 인체 생리학적으로 안전한 전류범위는 20mA 이하임을 알 수 있다. 그러나 이 값은 실제 사고시의 인체 조건 및 접촉 조건, 접촉시간 등에 따라 다른 결과를 가져올 수도 있다.



(a) AC 전원에서의 인체 반응 곡선



(b) DC 전원에서의 인체 반응 곡선

〈그림 2〉 인체통전전류와 시간에 따른 인체 반응 곡선

### 2.2.2 전기적 연속성에 관한 국제 기준 분석

전기적 연속성과 관련된 국제 기준으로는 UNECE R 100, ISO 6469-3, ISO 23273-3, Japanese Regulation Attachment 101 등이 있다.

현재, 하이브리드자동차를 미래형자동차의 안전에 대한 국제기준이 제정되고 있으며 자동차 안전을 확인하기 위한 절차나 방법들이 제시되고 있다[4-7]. UN/ECE(United Nations Economic Commission for Europe) R 100(1997)에서는 보호 도체의 저항(resistance of the protective conductor)이라는 항목에서 규정하고 있으며 노출된 두 도전부의 등전위저항(potential equalization resistance)은 0.1Ω 이하여야 한다고 규정하고 있으며 시험전류는 최소 0.2A 이상으로 하고 있다.

ISO 6469-3(electric road vehicle - safety specifications, 2007 CD)에 의하면 작동전압이 교류 25V, 직류 60V를 초과하는 B급 전압 전기장치의 위험을 포함한 노출 도전부(exposed conductive part)의 등전위저항은 25A의 시험전류에서 두 노출도전부에 5초간 인가하였을 때 0.1Ω 초과하면 안 된다고 되어 있다. ISO 32373-3(fuel cell road vehicle - safety specifications, 2007.11)에서도 전기적 연속성에 대하여 규정하고 있으며, 그 내용은 ISO 6469-3의 내용과 거의 동일하다. 또한 일본의 Attachment 101에서는 전기적 새시와 모든 노출 도전부품사이의 저항은 최소 0.2A의 전류로 측정했을 때 0.1Ω를 넘지 않도록 하고 있다.

결과적으로, 전기적 연속성과 관련하여 시험결과 값은 0.1Ω 이하로 규정하고 있음을 알 수 있다.

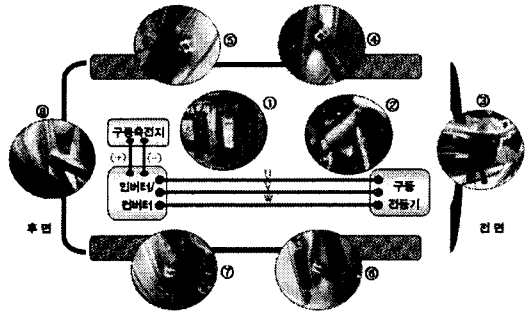
## 3. 전기적 연속성 측정 및 측정결과 분석

### 3.1 전기적 연속성 측정 방법

그림 3(a)와 같이 하이브리드자동차의 전기적 연속성을 측정하였으며 그림 3(b)과 같이 구동용 축전지 외함, 차량전방(엔진룸), 좌우측 앞문의 외함, 차량 후방(트렁크), 구동전동기 외함 간의 전기적 저항을 조지함측정기(C.A 6250, Chauvin Arnoux, France)를 이용하여 측정하였으며 이때의 시험전류는 10A로 하였다.



(a) HEV의 전기적 연속성 실측 장면



(b) 전기적 연속성 측정점

〈그림 3〉 HEV의 전기적 연속성 측정 방법

### 3.2 전기적 연속성 측정결과 분석

HEV의 고전원 전기장치 및 전기배선의 충전부는 전기적으로 차체와 분리(절연)되어 있다. 이 고전원 전기장치 및 전기배선의 절연에 이상이 발생한 경우 인체 감전의 위험이 있기 때문에 인체 감전에 대한 안전 확보를 위하여 차체와 고전원 전기장치의 외함을 전기적으로 접속하여야 한다.

표 1은 그림 3과 같이 각 측정점에서의 전기적 연속성을 측정된 결과이다. 실측 결과에서 알 수 있듯이 측정값들이 UNECE R 100, ISO 6469-3, ISO-23273-2, Japan Attachment 101 등에서 규정하고 있는 0.1Ω 보다 작았으며, 측정 경로에 따라 약간의 차이가 있음을 알 수 있었다. 또한, 구동축전지 외함과 우측 앞문 및 구동전동기 외함과 우측 앞문의 전기적 저항이 다른 부분에 비해 현저하게 높음을 알 수 있었다. 이는 우측 앞문 부분의 전기적 저항이 다른 부분에 비해 높은 것으로 추정된다.

이상과 같이 측정된 값은 국제 기준 또는 규격에 명시된 값 범위 안에 있지만 향후 자동차 차체 설계시 전기적 부분도 고려해야 할 것으로 판단된다. 또한, 전기적 연속성(등전위저항)과 관련하여 각각의 규격이나 기준에서 명시하고 있는 내용을 현장에 적용함에 있어 보다 명확한 측정점의 제시가 필요한 것으로 실측 결과 확인되었으며 시험방법 상의 절차나 시험 전류 등에 있어서도 기준이나 규격의 일원화(unification)가 필요함을 알 수 있었다. 노출 도전부에 대한 전기적 연속성의 확보는 고전압 전기장치의 노출된 충전부에 대한 인체의 직접 접촉이나 고전원 전기장치에 절연 이상 등이 발생하였을 때의 감전 보호를 위한 것으로 향후 국내 안전기준의 제정시 검토되어야 할 것으로 판단된다.

〈표 1〉 전기적 연속성 측정 결과

기준 측정점	대상 측정점	측정값[mΩ]
구동축전지 외함(①) (인버터/컨버터 외함)	차량 전방(엔진룸,③)	0.759
	좌측 앞문(④)	1.051
	좌측 뒷문(⑤)	1.776
	우측 앞문(⑥)	28.486
	우측 뒷문(⑦)	5.834
	차량 후방(트렁크,⑧)	2.417
구동전동기 외함 (②)	차량 전방(엔진룸,③)	1.270
	좌측 앞문(④)	1.711
	좌측 뒷문(⑤)	2.464
	우측 앞문(⑥)	28.953
	우측 뒷문(⑦)	6.504
	차량 후방(트렁크,⑧)	3.000
구동축전지 외함(①)	7.836	

## 4. 결 론

이상과 같이 하이브리드자동차(HEV)의 전기적 연속성과 관련된 국제 기준 및 규격을 분석하였으며, 실차량 대상으로 전기적 연속성을 측정하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) UNECE R 100, ISO 6469-3 및 23273-3 및 Japan Attachment 101 등에서 전기적 연속성에 대하여 규정하고 있으며 요구되는 전기적 연속성 값은 0.1Ω 이하이다. 그러나 측정을 위한 조건은 약간의 차

- 이가 있어 규정이나 기준의 일원화(unification)가 필요하다.
- (2) HEV에 대한 전기적 연속성을 측정한 결과, 측정점 간의 전기저항이 국제 기준 또는 규정에서 명시하고 있는 0.1Ω을 넘지 않았다. 그러나 일부 측정점에서의 전기저항은 다른 노출 도전부보다 높게 나타났다. 전기적 새시 등 노출 도전부의 일정한 전기적 연속성의 확보를 위해 차량의 차체 설계시 전기적 특성도 고려할 필요가 있다.
  - (3) 현재, 전기적 연속성과 관련 규정에 있어 시험방법 및 절차에 대한 구체적인 사항이 명시되어 있지 않아 현장에서 혼란을 초래할 수 있을 것으로 사료되며 이에 대한 보완이 필요하다.
- 향후, 고전원을 사용하는 하이브리드자동차(HEV), 전기자동차(EV) 및 수소 연료전지자동차(HFCV) 등의 안전기준 제정시 고전원 충전부의 직접 접촉 또는 간접접촉에 의한 인체 감전의 예방을 위해 전기적 새시의 전기적 연속성 확보가 요구된다.

#### 감사의 글

본 논문은 한국건설교통기술평가원의 교통체계효율화사업 중 “하이브리드자동차의 안전성 평가기술 개발”과제의 연구결과물이며, 연구비 지원에 감사드립니다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] 국토해양부령, “자동차 안전기준에 관한 규칙”, 제4호, 2008.
- [2] 이기연 외 5, “하이브리드 자동차용 고압 케이블의 온도 특성에 관한 연구”, 대한전기학회 논문지, Vol.57P, No.3, pp.338-342, 2008.
- [3] 기술표준원, KS C IEC 60479-1(인체와 가축에 대한 전류의 영향-제1부:일반적인 양상”, 2007.
- [4] ISO 6469-3(CD), “Electric road vehicles-Safety specifications - Part 3 : Protection of persons against electric shock”, 2008.
- [5] ISO 23273-3, “Fuel cell road vehicles-Safety specifications -Part 3 : Protection of persons against electric shock”, 2007.
- [6] ECE Regulation 100, “Unification provisions concerning the approval of battery electric vehicles with regard to specific requirements for the construction and functional safety”, UN, 1997
- [7] Japanese Regulation attachment 101, “Technical standard for protection of occupants against high voltage in fuel cell vehicles”, 2007.