

## HEV의 전기안전을 위한 절연저항 측정기법에 관한 연구

이기연\*, 김향곤, 길형준, 김동욱, 김동우, 문현욱  
한국전기안전공사 전기안전연구원

### Research on insulation resistance measurement technique for electrical safety of HEV

Ki-Yeon Lee, Hyang-Kon Kim, Hyoung-Jun Gil, Dong-Ook Kim, Dong-Woo Kim, Hyun-Wook Moon  
Korea Electrical Safety Corporation Electrical Safety Research Institute

**Abstract** - 본 연구에서는 하이브리드 자동차의 고전원 전기장치 및 고전원 배선에서 인체의 직접 접촉 및 간접 접촉에 의한 감전사고를 방지하기 절연저항의 측정 방법을 제시하였다. 하이브리드 자동차에서 절연저항은 ISO 및 ECE, FMVSS, Attachment 등의 국외규격에서 100Ω/Vdc, 500Ω/Vac 이상을 유지하도록 규정하고 있다. 하지만 하이브리드 및 전기자동차의 구조에 맞는 절연저항 측정 방법에 대한 정확한 방법이 제시되어 있지 않기 때문에 본 연구에서는 하이브리드 및 전기자동차의 절연저항 측정 방법이 있어 외국의 규격에서 제시하고 있는 방법과 비교를 통하여 실제 차량에서 적용할 수 있는 절연저항 측정 기법을 제시할 것이다.

#### 1. 서 론

국제적으로 지구 대기 오염의 주 원인인 자동차 배기가스에 의한 환경오염을 줄이고자 점차 규제가 강화되고 있는 추세로 바뀜에 따라 이에 부합하는 저공해 환경 친화적인 자동차의 개발과 보급이 요구되고 있는 실정이다. 특히 하이브리드 자동차의 경우 1997년 상용화를 시작으로 2008년도에는 세계 자동차 시장에서 75만대의 시장규모를 형성할 것으로 예측되고 있다. 또한, 국내 업계에서도 2009년 7월 하이브리드 자동차의 상용화를 위해 준비를 하고 있는 실정이며, 2012년에는 하이브리드 자동차 48,000대 정도를 국내에서 생산할 전망으로 알려져 있다[1-4]. 이처럼 하이브리드 자동차는 빠르게 보급되고 있으며, 그 시장규모는 확산되고 있지만, 하이브리드 자동차 및 전기자동차의 전기적인 주요 구성요소인 고전원전기장치(구동축전지, 전력변환장치, 구동전동기, 고전원 전기배선 등)에 대한 안전기준은 미비한 실정이다. 국제적으로 이에 대한 기준 정립회의가 진행 중에 있기 때문에 하이브리드 자동차 및 전기자동차 산업의 발전과 안전성 확보를 위하여 안전을 고려한 설계 및 시험 기준이 필요한 상황이다. 현재 우리나라의 경우에도 자동차 안전기준에 관한 규칙 및 시행세칙 등에서 고전원 전기장치에 관한 기준이 별도로 제정되어 있지 않기 때문에 정부부처와 자동차 제작사 등을 중심으로 전기안전을 위한 기준 제정을 위하여 노력중인 것으로 알려져 있다. 하이브리드 자동차의 전기안전을 위한 외국의 규격은 ISO 6469-1, ISO 6469-3, ISO 23273-3, ECE R 100, FMVSS 305, 일본 Attachment 110 등에서 주로 언급하고 있으며, 주로 인체로부터 직·간접 접촉에 의한 감전사고를 예방하기 위한 고전원 전기장치에 대한 구조 기준과 절연저항, 전기적 연속성, 내전압 등의 성능기준, 그리고 충돌시의 안전기준 등에 대하여 언급하고 있다.

외국의 각 규격에서 언급하고 있는 절연저항은 100Ω/Vdc, 500Ω/Vac 이상을 유지하도록 되어 있지만, 고전원 전기장치의 구성요소인 구동축전지, 전력변환장치, 구동전동기, 고전원 전기배선 등 측정 부위와 측정 방법에 대해서는 자세하게 언급되어 있지 않은 실정이다[5-9].

따라서, 본 연구에서는 국외의 규격들을 비교, 분석한 후, 실제 하이브리드 자동차 절연저항 측정 기법을 제시할 것이다. 절연저항 측정 기법을 통하여 하이브리드 및 전기자동차의 고전원전기장치의 전기안전 관련 기준 제정과 시험방법 제정에 도움을 주고자 한다.

#### 2. 규격 비교 및 분석

미국, 일본, 유럽 등 세계 각국에서는 자동차 안전관련 법규를 제정하기 위하여 연구사업을 지원하고 있으며, 연구결과를 토대로 하여 법규 제정에 활용하고 있으며, 연구결과 및 자국법을 GTR에 주도적으로 반영하기 위하여 노력하고 있다. 이러한 결과로 현재까지 절연저항에 대하여 언급되어 있는 외국의 법규와 규격을 분석해 보면 다음과 같다.

작동전압이 직류 60V 또는 교류 25V를 초과하는 고전원 전기장치 및 배선에서 인체의 직접 접촉 및 간접 접촉에 의한 인체에 대한 위험은 주로 인체에 흐르는 전류의 크기와 시간에 좌우되기 때문에 IEC

60479-1에서 제공하는 시간/전류 영역에 대한 인체의 생리학적으로 적용하여 일반적으로 전기 생리학적으로 해롭지 않은 영역에 해당되는 감전 전류값으로 적용하고 있기 때문에 절연저항 값을 100Ω/V(DC), 500Ω/V(AC) 이상으로 유지하도록 규정하고 있다[5-9].

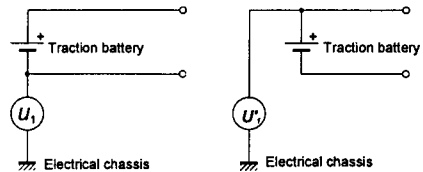
절연저항 측정방법은 규격에 따라 외부로부터 직류전압을 인가하여 측정하는 방법과 내부의 직류전원을 이용하여 측정하는 방법 중 두가지 방법을 제시하고 있는 경우와 내부의 직류전원을 이용하여 측정하는 방법만을 제시하는 경우로 나누어지고 있다.

#### 2.1 내부의 직류전원을 이용하여 측정하는 방법

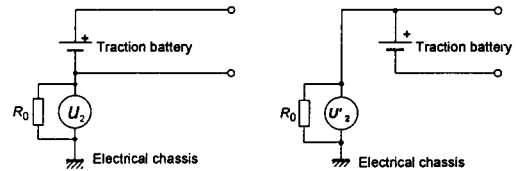
ECE, ISO, FMVSS, Attachment, SAE 등에서 제시한 내부의 직류전원을 이용하여 절연저항을 측정하는 방법은 다음과 같다.

시험 차량의 상태는 원칙적으로 고전원전기장치를 통전시킨 상태로 하며, 측정에 사용되는 전압계는 내부 저항값이 10MΩ 이상인 직류 전압계를 사용하여 측정한다. 그림 1에 나타낸 측정점의 1단계 전압을 측정하고, 그림 2에 나타낸 것과 같이 저항을 삽입하여 2단계 전압을 측정한다. 1단계와 2단계에서 측정된 전압값과 그림 2에서 삽입한 R<sub>0</sub>값을 이용하여 다음의 산출식을 통하여 절연저항을 구한다.

$$R_i = \frac{|V_1| - |V_2|}{|V_2|} \times R_0 \quad \text{또는} \quad R_i = \frac{|V_1|}{|V_2|} \times R_0$$



〈그림 1〉 제1단계 전압 (V<sub>1</sub>, V<sub>1</sub>') 측정



(a) |V<sub>1</sub>| ≥ |V<sub>1</sub>'|인 경우 (b) |V<sub>1</sub>| < |V<sub>1</sub>'|인 경우

〈그림 2〉 제2단계 전압 (V<sub>2</sub>) 측정

#### 2.1 외부로부터 직류전원을 인가하여 측정하는 방법

ECE, ISO, FMVSS, Attachment, SAE 등에서 제시한 외부로부터 직류전원을 인가하여 절연저항을 측정하는 방법은 다음과 같다.

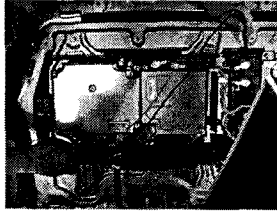
고전원 전기장치의 작동전압보다 높은 직류 전압을 인가할 수 있는 절연저항 시험기를 사용하며, 충전부와 전기적 새시의 사이에 절연저항 시험기를 접속하여 작동전압보다 높은 직류 전압을 인가하여 절연저항을 측정하도록 설명되어 있다.

#### 3. 실험 방법

ECE, ISO, FMVSS, Attachment, SAE 등에서 제시한 절연저항 측정 방법에는 외부에서 직류전원을 인가하여 측정하는 방법과 내부의 전원

을 이용하여 측정하는 방법 두가지를 제시하고 있다. 외부에서 직류전원을 인가하여 측정하는 방법은 일반적으로 절연저항계를 사용하여 측정하는 방법으로 전기설비의 절연저항 측정하는 방법과 유사하다고 할 수 있다. 하지만, 내부의 전원을 이용하여 측정하는 방법은 새로운 방식의 측정기법이다. 그렇기 때문에 측정방법에 대한 실증적인 검증이 필요하다.

내부의 전원을 이용하는 측정하는 방법을 적용하기 위하여 그림 1에서 제시한 방법으로  $V_1, V_1'$ 를 측정한 후 그림 2와 같이 저항  $R_0$ 를 삽입하여  $V_2$ 를 측정한다. 실차 실험을 위한 실험장치는 그림 3에 나타나 있다. 구동축전지와 전력변환장치를 보호하고 있는 외함(전기적 새시)과 구동축전지의 (+)단자((-)단자)간의 전압을 측정한다. 전압을 측정하여 높은 전압값을 가지는 단자에 저항  $R_0$ 를 외함(전기적 새시) 사이에 연결한 후 전압을 측정하여 절연저항 값을 계산한다.

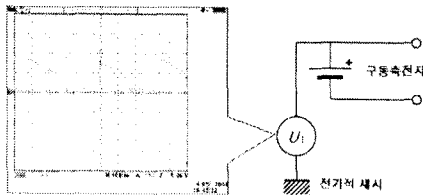


〈그림 3〉 실차상태의 절연저항 측정 모습

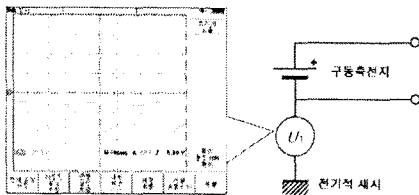
#### 4. 결과 및 고찰

##### 4.1 내부의 직류전원을 이용하여 측정

2.1에서 제시한 방법으로 그림 3과 같이 절연저항을 계산하기 위하여 전압을 측정한 결과는 그림 4와 같이 나타났다.  $V_1, V_1'$  측정결과  $V_1'$ 의 전압피크의 크기가  $V_1$ 보다 크기 때문에 저항  $R_0$ 을 구동축전지의 (-)단자와 외함 사이에 연결하고, 전압  $V_2$ 를 측정하였다.

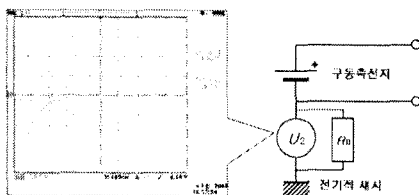


(a) 구동축전지의 (+)극과 전기적 새시 사이의 전압 ( $V_1$ ) 측정



(b) 구동축전지의 (-)극과 전기적 새시 사이의 전압 ( $V_1'$ ) 측정

〈그림 4〉  $V_1, V_1'$  전압 측정 결과



〈그림 5〉 구동축전지의 (-)극과 전기적 새시 사이의 전압 ( $V_2$ ) 측정

그림 4와 5에 나타난 전압의 피크값은  $V_1, V_1', V_2$ 는 각각 -120[V], 90[V], -98[V]로 측정되었지만, 측정 과정에서 알 수 있듯이 일정한 전압값이 아닌 변동되는 파형으로 측정된 것을 알 수 있다.

하이브리드자동차의 고전원 전기장치의 설계 구조를 살펴보면 기존 자동차에서 사용하는 전원 및 제어전원으로 사용되는 +12[VDC]와 구동용으로 사용되는 구동축전지, 전력변환장치, 구동전동기는 전기적으로 분리되어 있는 상태이다. 즉, 차량의 전기적 새시와 플로팅되어 있기 때문에 본 연구에서 측정된  $V_1, V_1'$ 가 변동하는 전압이 측정된 것이다. 그렇기 때문에 외국의 규정에서 제시한 내부의 전원을 이용하여 측정하는 방법은 당장 하이브리드자동차 및 전기자동차에서 절연저항을 측정하는 방법으로 사용하기에는 좀 더 면밀한 검토가 필요하다고 판단된다. 또한, 국내 규격인 KS R ISO 6469-1에서도 같은 방법이 제시되어 있지만 부속에서 2배까지 오차가 날 수 있다고 나타나 있다. 오차가 발생하는 이유가 전원의 플로팅 때문에 발생하는 것으로 판단된다.

##### 4.2 외부로부터 직류전원을 인가하여 측정

앞에서 언급한 절연저항 측정방법 중 외부로부터 직류전압을 인가하여 측정하는 방법으로 절연저항 방법을 선택하였다. 이 방법으로 절연저항 측정시 측정기는 고전원전기장치의 작동 전압보다 높은 직류 전압을 인가할 수 있는 절연저항 시험기(절연저항계)를 사용하여야 한다. 절연저항은 충전부와 전기적 새시 사이에 절연저항 시험기를 접속한 후 고전원전기장치의 작동 전압보다 높은 직류전압을 인가하여 절연저항을 측정한다. 현재의 국내 자동차관련 법에서는 고전원전기장치에 대한 전기기준 등이 별도로 제정되어 있지 않으며, 외국에서도 관련법을 개정 중에 있는 실정이다. 하지만, 관련법을 제정하는데 있어 외국의 규격 등을 참고하여 제정하고 있는데 외국의 규격 등에서의 절연저항은 구동축전지의 절연저항만을 검토하도록 되어 있다.

절연저항을 측정하여 일정값 이상으로 유지시키는 이유는 인체의 직접접촉 및 간접접촉에 의한 감전사고로부터 보호하기 위한 것이다. 하지만 외국의 규정과 같이 구동축전지의 절연저항만 검토할 경우 감전사고로부터 인체를 보호하지 못할 수도 있기 때문에 전로에 대한 절연저항도 검토하여야 한다.

따라서, 본 연구에서는 절연저항 시험기를 이용하여 절연저항을 측정하고 절연저항 측정 대상에 대하여 언급하고 있다.

##### 4.3 HEV 실차 대상의 절연저항 측정

본 연구에서 제시한 절연저항 측정 기법과 측정 대상에 대하여 실제 하이브리드 자동차를 대상으로 측정하였다.

##### 4.3.1 구동축전지와 고전원 전기배선 연결 상태에서 측정 결과

인체 감전보호를 위한 절연저항 측정 기법을 제시하기 위하여 먼저 구동축전지와 고전원 전기배선을 연결한 상태에서 절연저항을 측정하였다. 차량의 상태(시동 ON/OFF, 구동축전지 FUSE ON/OFF)에 따라 구분하여 측정하였으며, 측정 대상점은 구동축전지 단자와 외함 사이의 절연저항을 측정하였다. 구동축전지의 동작전압이 165[V]이기 때문에 절연저항계의 인가전압은 각각 500[V]/1000[V]를 인가하여 측정하였다.

〈표 1〉 절연저항 측정값(구동축전지와 고전원 전기배선 연결 상태)

차량 상태	측정대상점	인가전압	절연저항
시동 OFF Fuse ON	구동축전지 (-) 단자	500[V]	305 [MΩ]
		1000[V]	232 [MΩ]
	구동축전지 외함 (+) 단자	500[V]	385 [MΩ]
		1000[V]	225 [MΩ]
시동 ON Fuse ON	구동축전지 (-) 단자	500[V]	0.7 [MΩ]
		1000[V]	0.5 [MΩ]
	구동축전지 외함 (+) 단자	500[V]	264 [MΩ]
		1000[V]	0.6 [MΩ]
시동 OFF Fuse OFF	구동축전지 (-) 단자	500[V]	223 [MΩ]
		1000[V]	192 [MΩ]
	구동축전지 외함 (+) 단자	500[V]	356 [MΩ]
		1000[V]	217 [MΩ]

측정결과, 시동 ON, 구동축전지 FUSE ON 상태에서 절연저항값이 낮게 측정되었다. 하지만, DC 165[V]인 구동축전지의 절연저항은 16.6[kΩ] 이상을 유지하도록 하는 규정에 만족하는 절연저항값으로 측정되었다.

### 4.3.2 구동축전지와 고전원 전기배선 분리 상태에서 측정 결과

구동축전지와 고전원 전기배선을 분리하고 차량의 상태(시동 ON/OFF, 구동축전지 FUSE ON/OFF)에 따라 구분하여 측정하였으며, 측정 대상점은 구동축전지 단자와 외함 사이, 구동축전지 외함과 고전원 전기배선 단자 사이의 절연저항을 측정하였다. 구동축전지의 동작전압이 165[V]이기 때문에 절연저항계의 인가전압은 각각 500[V]/1000[V]를 인가하여 측정하였다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 한국과학기술정보연구원, “하이브리드자동차 수요전망을 통한 시장 기회 분석”, 2004.
- [2] 김호기, “하이브리드 전기자동차의 전기동력기술”, 전기의 세계, 제 54권 제5호, pp26-34, 2005
- [3] 이지명 외 4, “하이브리드 전기자동차 구동용 전력변환장치”, 전력전자학술대회 논문집, pp7-11, 2008.
- [4] 이기연 외 5, “하이브리드 자동차용 고압 케이블의 온도 특성에 관한 연구”, 전기학회논문지, 제57P권 제3호, pp338-342, 2008.
- [5] ISO 6469-1, “Electric road vehicles-Safety specifications-Part1: On-board electrical energy storage”, 2001.
- [6] ISO 6469-3, “Electric road vehicles-Safety specifications-Part3: Protection of persons against electric hazards”, 2001.
- [7] ISO 23273-3, “Fuel cell road vehicles-Safety specifications-Part1: Protection of persons against electric hazards”, 2001.
- [8] ECE Regulation 100, “Uniform provisions concerning the approval of battery electric vehicles with regard to specific requirements for the construction and functional safety”, UN, 1997.
- [9] Attachment 101, “Technical standard for protection of occupants against high voltage in fuel cell vehicles”, 2007.

〈표 2〉 절연저항 측정값(구동축전지와 고전원 전기배선 분리 상태)

차량 상태	측정대상점	인가전압	절연저항	
시동 OFF Fuse OFF	구동축 전지 외함	전기배선 (-) 단자	500[V] 525 [MΩ] 1000[V] 269 [MΩ]	
		전기배선 (+) 단자	500[V] 485 [MΩ] 1000[V] 278 [MΩ]	
	구동축 전지 외함	구동축전지 (-) 단자	500[V] >550 [MΩ] 1000[V] 2.2 [GΩ]	
		구동축전지 (+) 단자	500[V] >550 [MΩ] 1000[V] 1.1 [GΩ]	
	시동 OFF Fuse ON	구동축 전지 외함	구동축전지 (-) 단자	500[V] >550 [MΩ] 1000[V] 2.2 [GΩ]
			구동축전지 (+) 단자	500[V] >550 [MΩ] 1000[V] 1.2 [GΩ]
시동 ON Fuse ON	구동축 전지 외함	구동축전지 (-) 단자	500[V] >550 [MΩ] 1000[V] 2.2 [GΩ]	
		구동축전지 (+) 단자	500[V] >550 [MΩ] 1000[V] 0.6 [MΩ]	

측정결과, 구동축전지의 경우 시동 ON, 구동축전지 FUSE ON 상태에서 절연저항값이 낮게 측정되었다. 하지만, DC 165[V]인 구동축전지의 절연저항은 16.6[kΩ]이상을 유지하도록 하는 규정에 만족하는 절연저항값으로 측정되었다. 또한, 전기배선의 절연저항값은 높게 측정되었다.

## 5. 결 론

본 연구는 하이브리드 자동차 및 전기자동차의 고전원전기장치에서 직·간접 접촉에 의한 감전사고로부터 인체를 보호하기 위한 절연저항 측정 기법에 대하여 논하였다. 외국의 규격에서 제시한 방법을 비교 분석하여 실차 상태에 맞는 측정 기법을 제시하였다. 또한, 절연저항의 판정기준으로는 기존에 제시되었던 100Ω/Vdc, 500Ω/Vac를 적용하는데 있어 인체 감전보호에 적절한지를 검토하였다.

따라서, 하이브리드 자동차 및 전기자동차에서의 전기안전을 고려한 절연저항 측정 기법에 대하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 하이브리드 자동차 및 전기자동차에서의 감전보호를 위한 절연저항값은 100Ω/V[DC], 500Ω/V[AC] 이상을 유지하여야 한다.
- (2) 검증된 절연저항을 측정하는 방법으로는 고전원전기장치의 작동 전압보다 높은 직류 전압을 인가할 수 있는 절연저항 시험기를 사용하여 측정하는 방식으로 측정하여야 한다.
- (3) 절연저항 측정 대상은 구동축전지의 (+), (-) 단자와 외함, 고전원 전기배선의 (+), (-) 단자와 외함 사이의 절연저항을 측정하여야 한다.

### 감사의 글

본 논문은 한국건설교통기술평가원의 교통체계효율화사업 중 “하이브리드 자동차의 안전성 평가기술 개발”에 대한 연구결과물임