

# 친환경자동차 고전압시스템의 절연성능 평가 방법 연구

이 기 연, 김 향 곤

한국전기안전공사 전기안전연구원

## Study on the Evaluation Method of Electrical Isolation Property for High Voltage System of Green Car

Ki Yeon Lee, Hyang Kon Kim

Electrical Safety Research Institute(subsidiary of Korea Electrical Safety Corporation)

### ABSTRACT

친환경자동차의 고전압시스템에 대한 인체 감전 사고 예방을 위한 전기안전 평가요소는 절연성능 평가이다. 고전압시스템을 사용하는 자동차의 절연성능은  $100\Omega/V_{dc}$ ,  $500\Omega/V_{ac}$  이상으로 규정하고 있으며, 평가방법은 UNECE WP.29의 GTR 등에서 여러 가지 방법을 제시하고 있지만, 실차에 대한 측정을 통하여 몇 가지 문제점이 도출되었다.

본 연구에서는 실차상태의 절연성능 평가의 문제점 분석을 통하여 In Use 상태와 Post Crash 상태의 실차에 대한 절연성능 평가 방법을 제시하였다.

측정에 사용되는 전압계는 내부 저항이  $10M\Omega$  이상인 직류 전압계를 사용하여 측정한다. 측정은 그림 1에 나타난 1단계 전압을 측정한 후  $V_1$ 이  $V_2$ 보다 크거나 같으면,  $V_1$  전압이 걸리는 회로에 저항  $R_0$ 를 삽입하여 2단계 전압  $V_1'$ 를 측정한다. 1단계와 2단계에서 측정된 전압값과  $R_0$ 값을 이용하여 절연저항을 구한다. 만약 1단계 전압을 측정할 후  $V_2$ 가  $V_1$ 보다 크다면,  $V_2$ 에  $R_0$ 를 삽입하여 2단계 전압  $V_2'$ 를 측정할 후 다음의 산출식을 이용하여 절연저항을 구한다<sup>[1]</sup>.

## 1. 서론

친환경자동차는 동력원으로 구동축전지, 연료전지 등의 전기에너지를 이용하여 전기모터를 구동한다. 전기를 동력원으로 하는 친환경자동차의 고전압시스템은 작동전압이 직류 60V 또는 교류 30V를 초과하는 전기시스템으로 고전압시스템의 직접 접촉 및 간접 접촉에 의해 인체 안전에 영향을 주게 된다. UNECE WP.29 GTR 및 FMVSS 305, ISO 6469-3, ISO 23273-3 등에서는 절연성능 평가 기준을  $100\Omega/V_{dc}$ ,  $500\Omega/V_{ac}$  이상으로 유지하도록 규정하고 있으며, 절연성능 평가방법에 대하여 규정하고 있다.<sup>[1]</sup>

본 연구에서는 국내·외 기준 및 표준 등에서 규정하고 있는 절연성능 평가방법에 대하여 실차를 대상으로 실험한 결과를 통해 얻어진 문제점 분석을 통하여 친환경자동차의 안전성 확보를 위한 각 상황별 평가 방법을 제시하고자 한다.

## 2. 절연성능 평가방법 분석

2.1 내부의 직류전원을 이용하여 측정하는 방법  
시험 차량은 고전압시스템이 활성화된 상태이며,

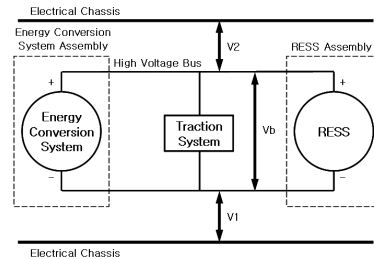


그림 1 1단계 전압( $V_b$ ,  $V_1$ ,  $V_2$ ) 측정  
Fig. 1 Voltage Measurement of  $V_b$ ,  $V_1$ ,  $V_2$

$$R_i = R_0 \times \left( \frac{V_b}{V_1'} - \frac{V_b}{V_1} \right) \quad \text{또는} \quad (1)$$

$$R_i = R_0 \times \left( \frac{V_b}{V_2'} - \frac{V_b}{V_2} \right) \quad (2)$$

### 2.2 절연저항계를 이용하여 측정하는 방법

외부로부터 직류전원을 인가하여 측정하는 방법은 절연저항계를 사용하는 방법으로 활선도체부와 전기적채시 사이에 고전압시스템의 작동전압보다 높은 직류전압을 인가할 수 있는 절연저항계를 사용하여 작동전압의 1/2 이상을 인가하여 측정한다.

### 2.3 전압 방전 및 에너지 측정에 의한 평가

전압 방전 및 에너지 측정에 의한 평가는 충돌시험(Post Crash)시 주로 적용할 수 있는 평가로 절

연성능 대신 충돌 후 전기 동력원에 대한 에너지 차단여부를 확인하는 것이다.

전압 방전은 충돌 후 60초 내에 그림 1의  $V_b$ ,  $V_1$ ,  $V_2$  전압이 직류 60V, 교류 30V 이하로 떨어져야 하며, 에너지 측정은 그림 1 회로의  $V_b$  사이에 기지저항  $R_e$ 와 스위치  $S_1$ 을 연결한 후 전압 ( $V_b$ )과 전류( $I_e$ )를 스위치  $S_1$ 이 단렸을 때( $t_c$ )부터 시작하여 고전압 한계값인 60Vdc(th)로 떨어졌을 때의 전압( $V_b$ )까지의 주기 동안 누적된 결과를 토달 에너지(TE)로 식(3)과 같이 계산한다<sup>[2]</sup>.

$$TE = \int_{t_c}^{t_h} V_b \times I_e dt \quad (3)$$

### 3. 실차 대상 절연성능 평가

실차 레벨의 절연성능 평가를 위하여 앞에서 설명한 방법으로 하이브리드자동차(HEV), 수소연료 전지자동차(HFCV)에 대하여 평가를 실시하였다.

전기자동차(EV)와 하이브리드자동차 등과 같이 구동축전지에 의해 전기에너지를 공급하는 시스템의 경우 고전압시스템은 전기적채시와 완전 절연된 상태인 플로팅 상태로 설계하는 경우가 많기 때문에 기본적으로는 플로팅 상태로 2.1에서 언급한 내부의 직류전원을 이용한 측정방법은 전압 측정이 불가능하여 측정할 수 없는 단점이 있다. 하지만, 수소연료전지자동차는 연료전지스택 내부의 냉각수로 인하여 고전압시스템과 전기적채시가 전기적으로 연결되어 있는 것과 같은 회로가 구성되기 때문에 측정이 가능하다.

실차레벨 평가 결과로부터 EV와 HEV는 절연성능 평가시 내부의 직류전원을 이용하여 측정하는 방법을 이용할 경우 적절한 평가가 이루어지지 못할 수도 있다는 결론을 얻었다.

하지만, 친환경자동차의 정상상태에서 절연성능 평가를 절연저항계로 모두 측정할 수 있는 것은 아니다. 수소연료전지자동차의 경우 연료전지스택 내부의 냉각수가 고전압버스와 전기적채시 사이를 전기적으로 연결하는 매개체 역할을 하기 때문에 냉각수의 유전율 등에 의해 절연성능에 영향을 끼친다. 실차레벨 평가결과 시험조건을 만족시키지 못하는 시험인가전압을 이용하여 측정되는 경우가 나타났다.

절연저항계를 이용할 경우 시험인가전압이 작동 전압 이상이 아닌 작동전압의 1/2 이상으로 규정된 평가방법도 문제로 분석되지만, 기존 절연저항계의 문제로 인하여 시험조건에 맞는 평가가 이루어지지 못한다는 문제점도 나타났다.

또한, 충돌시 절연성능 평가는 충돌 후 차량의

상태가 충돌 부분이 물리적으로 손상되어 절연성능에 영향을 끼치는 것을 평가하는 것인데, 절연성능 평가를 위하여 고전압시스템의 외함을 제거하고 평가하는 것은 평가를 위해 물리적으로 이상이 발생한 부분을 제거하는 것으로 부적절한 방법이라고 할 수 있다.

2.3에 설명한 전압 방전 및 에너지 측정에 의한 방법을 이용하여 실차레벨의 절연성능 평가를 실시하였다. 전압 방전의 경우 60초 이내에 기준값 이하로 전압이 방전되더라도 잔류 전압이 긴 시간 동안 남아 있으면 감전의 위험이 존재하기 때문에 가능하면 에너지 측정을 통하여 적부 판정을 실시하여야 할 것으로 판단된다.

### 4. 결 론

본 연구는 절연성능 평가 방법에 대한 분석으로 실차레벨 평가를 통하여 차량의 종류 및 상태와 시험 종류에 따라 절연성능 평가를 위한 방법을 제시하였다.

#### 1. 정상상태의 절연성능 평가

- (1) EV, HEV 등과 같은 경우 외부로부터 직류 전압을 인가하여 평가하는 방법으로 평가
- (2) HFCV는 시험인가전압 등 시험조건을 만족하지 못하는 경우 내부의 직류전압원을 이용하는 평가하는 방법으로 평가 또는 시험조건을 만족할 수 있는 절연저항계로 평가

#### 2. 충돌시 절연성능 평가

- (1) 자동차 고전압시스템의 구조를 고려하여 충돌 부위 이외의 고전압시스템에서 절연저항계를 이용하여 평가
- (2) 인체 감전보호를 위하여 충돌시 전압 방전을 이용한 평가 보다는 에너지 측정을 통한 평가방법 적용

본 논문은 국토해양부 교통체계효율화사업의 연구비지원(07교통체계-미래02)에 의해 수행되었습니다.

### 참 고 문 헌

[1] 이기연 외 3, “친환경 자동차의 전기안전을 위한 절연저항 측정에 관한 연구”, 대한전기학회 논문지, Vol. 58P, No. 4, 2009, pp. 597 601.  
 [2] 이기연 외 4, “수소연료전지자동차의 충돌시 절연저항 측정 방법에 관한 연구”, 대한전기학회 전기설비부문화 춘계학술대회 논문집, pp.56 58, 2011.