

# 친환경자동차의 전기안전을 위한 절연저항 측정에 관한 연구

논문

58P-4-44

## A Study on the Insulation Resistance Measurement Technique for Electrical Safety of Green Car

이 기 연<sup>†</sup> · 김 동 옥\* · 김 향 곤\*\* · 문 현 옥\*\*\*

(Ki-Yeon Lee · Dong-Ook Kim · Hyang-Kon Kim · Hyun-Wook Moon)

**Abstract** - Green car such as a hybrid electrical vehicle and fuel cell vehicle is developed as a commercial target. UN/ECE/WP29 is developing GTR of HFCV and establishing the regulation and standard of electrical safety by ELSA. The regulation and standard about Electrical safety of vehicle are prescribed in ISO, UN/ECE, FMVSS, Japanese Attachment and so on, in case of insulation resistance is referred to keep more than 100/Vdc, 500/Vac. However, accurate method to measure insulation resistance agreeable to structure of vehicle does not exist now, it is actually that correctness of measurement drops according to the feature of battery and fuel cell stack.

In this paper, the method to measure insulation resistance for protection against electrical shock by direct contact or indirect contact in Green Car will be indicated by making a comparison between the insulation measurement in standard of electrical safety and the experiment results for HEV and HFCV.

**Key Words** : HFCV, High Voltage System, Insulation Resistance, Electrical Safety, Electrical Shock

### 1. 서 론

세계적으로 환경오염을 줄이고자 점차 규제가 강화되고 있으며, 각국에서 환경오염의 저감을 위한 다양한 방안을 강구하고 있다. 이러한 대책의 일환으로 신재생 에너지와 환경친화기술의 개발에 박차를 가하고 있으며, 우리나라에서도 정부의 국가발전 비전으로 저탄소 녹색성장 전략을 추진하고 있다. 이에 맞춰 정부의 신성장동력 육성 정책으로 지구 대기오염의 주원인이 자동차 배기가스를 감소하기 위한 환경친화형의 미래형자동차에 대한 연구개발이 적극적으로 추진 중에 있으며, 업계에서도 2009년 하이브리드 자동차를 상용화하였으며, 2011년에는 수소 연료전지 자동차의 상용화를 목표로 개발이 가속화됨에 따라 기존의 엔진을 대체하는 전기장치의 성능 향상과 안전화보를 위한 기술 개발이 필요하다. 환경친화형 미래형자동차는 전기자동차(EV; Electric Vehicle), 하이브리드자동차(HEV; Hybrid Electric Vehicle), 플러그인 하이브리드자동차(PHEV; Plug-In Hybrid Electric Vehicle), 연료전지자동차(FCV; Fuel Cell Vehicle) 등이 있으며 각각의 종류에 따라 동력원으로 내연기관, 구동축전지,

연료전지를 조합하여 사용하고 있다. 이와 같이 전기를 동력원으로 하는 연료전지와 구동축전지의 특성과 구조에 따라 전기안전을 위한 위험요소가 달라진다[1-3].

환경친화형 미래형자동차에 대한 전기안전 관련 국내 기준은 2009년 1월 국토해양부령인 "자동차안전기준에 관한 규칙"에서 인체의 감전보호를 위한 고전원 전기장치(구동축전지, 전력변환장치, 구동전동기, 고전원 전기배선 등)에 대한 구조적인 안전기준을 제정하였다. 이와 관련하여 국제기준은 ISO 6469-3, ISO 23273-3, FMVSS305, UNECE R100, Japanese Attachment 101, ELSA 등에서 주로 규정하고 있으며, 각 규정에서는 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.

절연저항의 경우 100[Ω/Vdc], 500[Ω/Vac] 이상을 유지하도록 되어 있지만, 고전원 전기장치의 구성요소인 구동축전지, 전력변환장치, 구동전동기, 고전원 전기배선 등 측정 부위와 측정 방법에 대해서는 자세하게 언급되어 있지 않은 실정이다[4-5].

본 연구에서는 HEV, HFCV 등의 고전원 전기장치에서 인체의 직접접촉 및 간접접촉에 의한 감전사고 방지와 절연 열화에 의한 단락 및 지락사고에 의한 전기화재 방지를 위한 절연저항 측정 방법에 대하여 외국의 규정에서 제시하고 있는 방법과 실측 비교를 통하여 실제 차량에서 적용할 수 있는 절연저항 측정 방법을 제시할 것이다.

### 2. 절연저항 측정방법의 비교

미국, 일본, 유럽 등 세계 각국에서는 자동차 안전관련 법규를 제정하기 위한 프로젝트를 지원하고 있으며, 연구결과를 토

<sup>†</sup> 교신저자, 정회원 : 전기안전연구원 주임연구원

E-mail: lkycj@kesco.or.kr

\* 정 회원 : 전기안전연구원 주임연구원

\*\* 시니어회원 : 전기안전연구원 책임연구원

\*\*\* 정 회원 : 전기안전연구원 연구원

접수일자 : 2009년 11월 16일

최종완료 : 2009년 11월 18일

<본 논문은 본 학회 2009년도 전기설비전문위원회 춘계학술대회에서 우수논문으로 선정되어 편집위원회에서 심사 후 본 논문에 게재 되었음>

대로 하여 법규 제정에 활용하고 있다. 또한, 연구결과 및 자국 법을 GTR에 주도적으로 반영하기 위하여 수소연료전지자동차 관련 법규를 개발하고 있는 UN/ECE/WP.29와 전기안전 법규를 제정하고 있는 ELSA 등에 적극 반영하고자 노력하고 있다.

현재까지 GTR 및 ELSA, 관련 국제 규격 등에서 제정된 절연 저항에 대하여 언급되어 있는 내용을 분석해 보면 다음과 같다.

작동전압이 직류 60[V] 또는 교류 25[V]를 초과하는 고전원 전기장치 및 배선에서 인체의 직접 접촉 및 간접 접촉에 의한 인체에 대한 위험은 주로 인체에 흐르는 전류의 크기와 시간에 좌우되기 때문에 IEC 60479-1(Effects of current on human beings and livestock - Part 1: General aspects)에서 제공하는 시간/전류 영역에 대한 인체의 생리학적 영향을 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[6-9].

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**

UN/ECE, ISO, FMVSS, Japanese 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 10[MΩ] 이상인 직류 전압계를 사용하여 측정한다. 그림 1에 나타난 측정점의 1단계 전압을 측정한 후 V1이 V2보다 크거나 같으면, 그림 2에 나타난 것과 같이 저항 R0를 삽입하여

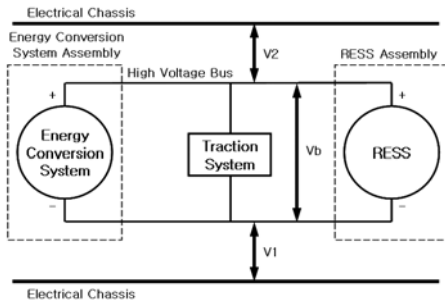


그림 1 1단계 전압(Vb, V1, V2) 측정  
Fig. 1 Voltage Measurement of Vb, V1, V2

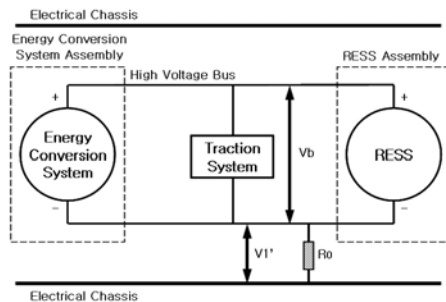


그림 2 2단계 전압(V1') 측정  
Fig. 2 Voltage Measurement of V1'

2단계 전압 V1'를 측정한다. 1단계와 2단계에서 측정된 전압값과 그림 2에서 삽입한 R0값을 이용하여 다음의 산출식을 통하여 절연저항을 구한다[6-9].

$$R_i = R_0 \times \left( \frac{Vb}{V1'} - \frac{Vb}{V1} \right)$$

또는 
$$R_i = R_0 \times Vb \times \left( \frac{1}{V1'} - \frac{1}{V1} \right)$$
 식(1)

만약 1단계 전압을 측정 후 V2가 V1보다 크다면, 그림 2에 나타난 것과 같이 저항 R0를 삽입하여 2단계 전압 V2'를 측정 후 다음의 산출식을 이용하여 절연저항을 구한다 [6-9].

$$R_i = R_0 \times \left( \frac{Vb}{V2'} - \frac{Vb}{V2} \right)$$

또는 
$$R_i = R_0 \times Vb \times \left( \frac{1}{V2'} - \frac{1}{V2} \right)$$
 식(2)

**2.2 외부로부터 직류전원을 인가하여 측정하는 방법**

UN/ECE, ISO, FMVSS, Japanese 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 새시와의 사이에 절연저항 시험기를 접속하여 작동전압보다 높은 직류 전압을 인가하여 절연저항을 측정하도록 하고 있다.

**3. 실험 및 분석**

절연저항 측정은 2.1에서 제시한 UN/ECE, ISO, FMVSS, Japanese Attachment, SAE 등에서 제시한 측정방법인 내부의 직류전원을 이용하여 측정하는 방법과 2.2에서 제시한 외부의 직류전원을 인가하여 측정하는 방법으로 측정하였다.

전기를 동력원으로 사용하는 구조에 따라 EV, HEV, PHEV와 같은 구동축전지를 전기 동력원으로 사용하는 경우에는 HEV를 대상으로 측정하였으며, 연료전지와 구동축전지를 전기 동력원으로 사용하는 경우에는 HFCV를 대상으로 측정하였다.

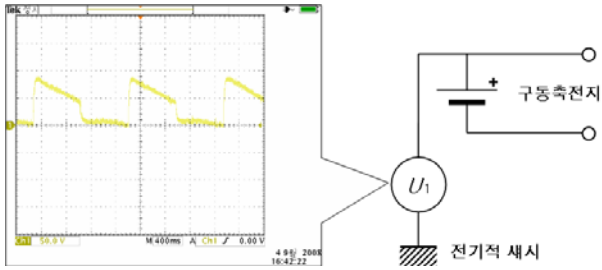
**3.1 HEV의 절연저항 측정**

**3.1.1 내부의 직류전원을 이용하여 측정**

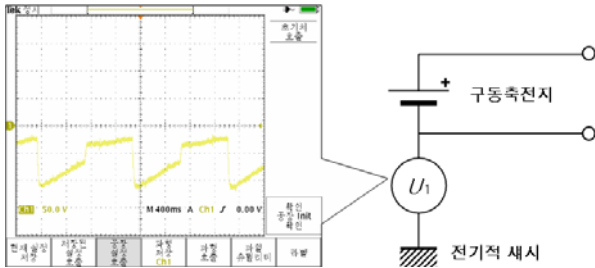
HEV의 경우 고전원 시스템의 구조상 2.1에서 제시한 내부의 직류전원을 이용한 측정은 그림 1과 2의 회로에서 에너지 변환 시스템을 제거한 후 측정한다.

먼저 V1과 V2 측정을 위하여 전압계를 사용하여 측정된 결과 전압계의 지침이 변동하여 측정할 수 없었기 때문에 오실로스코프를 이용하여 측정하였다. 오실로스코프를 이용한 측정결과를 그림 3에 나타내었다.

그림 3에 나타난 것처럼 1단계 전압인 V1, V2 측정결과 일정한 전압값이 아닌 변동되는 값으로 측정되는 것을 알 수 있었다. 측정결과 전압의 크기가 V2가 더 크게 나타내어 저항 R0를 100[Ω/V]이상인 약 15[kΩ]의 저항을 삽입한 후 전압을 측정하였다. 측정결과를 그림 4에 나타내었다.



(a) V1 전압 측정



(b) V2 전압 측정

그림 3 HEV의 1단계 전압(V1, V2) 측정

Fig. 3 Voltage Measurement of V1, V2 for HEV

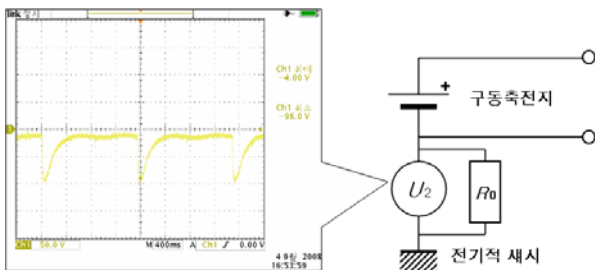


그림 4 HEV의 2단계 전압(V2') 측정

Fig. 4 Measurement of V2' for HEV

그림 3과 4에서 알 수 있듯이 V1과 V2, V2'의 전압 피크 값은 90[V], -120[V], -98[V]로 측정되었지만, 직류전압인 구동축전지의 전압이 일정한 전압값이 아닌 변동되는 파형으로 측정된 것을 알 수 있다.

HEV의 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 측정한 V1과 V2가 변동하는 전압이 측정된 것이다. 그렇기 때문에 2.1에서 제시한 내부의 전원을 이용하여 측정하는 방법은 구동축전지만을 전기동력원으로 사용하는 HEV, EV, PHEV에서 절연저항을 측정하는 방법으로 사용하기에는 좀 더 면밀한 검토가 필요하다고 판단된다. 또한, 국내 규격인 KS R ISO 6469-1에서도 같은 방법이 제시되어 있지만 부속서에서 2배까지 오차가 날 수 있다고 나타나 있다. 오차가 발생하는 이유가 전원의 플로팅 때문에 발생하는 것으로 판단된다.

### 3.1.2 외부로부터 직류전원을 인가하여 측정

2.2에서 언급한 외부로부터 직류전압을 인가하여 측정하는 방법은 고전원전기장치의 작동 전압보다 높은 직류 전압을 인가할 수 있는 절연저항 시험기(절연저항계)를 사용하여야 한다. 절연저항은 충전부와 전기적 새시 사이에 절연저항 시험기(Fluke-1587, Fluke, USA)를 접속한 후 고전원 전기장치의 작동 전압보다 높은 직류전압을 인가하여 절연저항을 측정한다.

절연저항은 시동 Off, 퓨즈 On(Key on) 상태에서 측정하였으며, 전기적 새시인 구동축전지 외함과 구동축전지의 (+), (-) 단자 사이에 구동축전지의 동작전압이 165[V]이기 때문에 500[V]와 1000[V]의 시험전압을 인가하여 측정하였다.

표 1 HEV의 절연저항 측정결과

Table 1 Measurement results of Insulation Resistance for HEV

차량 상태	측정대상점	시험전압	절연저항값	
시동 OFF Fuse ON	구동 축전지 외함	구동축전지 (-) 단자	500[V]	305[MΩ]
			1000[V]	232[MΩ]
		구동축전지 (+) 단자	500[V]	385[MΩ]
			1000[V]	225[MΩ]

표1에 나타난 것과 같이 절연저항 측정결과와 500[V]시험전압보다 1000[V] 시험전압을 인가하였을 때 더 낮은 절연저항이 측정되었으며, 각각 232[MΩ]과 225[MΩ]로 측정되었다. 측정된 절연저항값은 DC 165[V]인 구동축전지의 규정 허용 절연저항인 16.5[kΩ]이상을 유지하도록 하는 규정에 만족하는 절연저항값이다.

### 3.2 HFCV의 절연저항 측정

#### 3.2.1 내부의 직류전원을 이용하여 측정

HFCV의 경우 2.1에서 제시한 내부의 직류전원을 이용한 측정은 그림 1과 2에서 나타난 것과 같이 에너지 변환 시스템인 수소 연료전지 스택의 출력이 고전압시스템으로 인가되고, 구동축전지가 연결된 상태에서 측정한다.

먼저 V1과 V2 측정을 위하여 차량 상태를 시동 Off, 퓨즈 On(Key On) 상태로 하였으며, 직류 전압계를 사용하여 먼저 연료전지스택 양단간의 출력전압(Vb)을 측정하였으며, 다음으로 전기적 새시인 연료전지 스택의 외함과 연료전지 스택의 (+)단자의 전압(V1), (-)단자의 전압(V2)을 각각 측정하였다.

절연저항 측정을 위한 1단계 전압 측정은 총 3번을 측정하였으며, Vb, V1, V2의 측정값은 표 2에 나타내었다. 표 2에서 알 수 있듯이 연료전지 스택의 양단간 출력전압이 측정할 때마다 변하는 것을 알 수 있다. 이것은 측정차량의 상태가 시동을 건 상태가 아닌 Key On 상태이기 때문에 스택의 출력 특성에 따라 전압이 변동하는 것으로 생각된다.

2단계 전압 측정은 3번의 측정 중 2번째의 결과에 저항 R0를 40[kΩ]으로 하여 측정한 결과 37[V]가 측정되었다. 측정된 결과를 바탕으로 절연저항값을 환산하면 약 872[Ω/V]가 계산된다. 계산된 절연저항값은 기준값인 100[Ω/V]이상이므로 규정에 만족하는 절연저항값이라고 할 수 있다.

표 2 HFCV의 1단계 전압 측정결과

Table 2 Voltage Measurement results of Vb, V1, V2 for HFCV

구분	측정 대상점	측정값	
1st	연료전지스택 (+), (-) 양단간 출력전압	385[V]	
	전기적새시 (Stack 외함)	연료전지스택 (+) 출력단자	193[V]
		연료전지스택 (-) 출력단자	-194[V]
2nd	연료전지스택 (+), (-) 양단간 출력전압	364[V]	
	전기적새시 (Stack 외함)	연료전지스택 (+) 출력단자	192[V]
		연료전지스택 (-) 출력단자	-167[V]
3rd	연료전지스택 (+), (-) 양단간 출력전압	28[V]	
	전기적새시 (Stack 외함)	연료전지스택 (+) 출력단자	-129[V]
		연료전지스택 (-) 출력단자	-100[V]

HFCV의 내부의 직류전원을 이용하여 측정하는 방법은 전압의 측정이 가능하여 계산이 가능한 것으로 나타났지만, 표 2에서와 같이 측정할 때 마다 연료전지 스택의 출력전압인 Vb가 변동하고 이에 따라 V1과 V2가 변하기 때문에 차량상태, 즉 연료전지스택의 상태에 따라 변동이 심하게 나타날 수 있다. 이것은 차량이 시동을 걸어 연료전지 스택의 출력이 지속적으로 나올 때 측정해야 측정값이 안정화되기 때문에 기존의 규정에서 나타나 있지 않은 차량의 측정을 위한 상태 조건을 명시해야 할 것으로 판단된다.

또한, 연료전지 스택의 단품을 측정된 결과와 비교해보면 시스템이 운용될 때는 연료전지 스택 내부의 냉각수와 절연저항 상태 모니터링 시스템, 저전압 DC-DC 컨버터의 절연성능 등에 의하여 스택 출력단자와 전기적 새시 사이의 전기적 회로가 형성되어 DC 전압의 측정이 가능한 것으로 생각된다. 따라서 DC 전압의 측정이 가능한 상태는 절연상태가 규정에 적합 여부의 문제를 떠나 절연상태가 일부 저하된 상태라는 것을 알 수 있다.

3.2.2 외부로부터 직류전원을 인가하여 측정

2.2에서 언급한 외부로부터 직류전압을 인가하여 측정하는 방법은 HEV의 경우와 같은 방법으로 측정하였으며, 구동축전지의 출력단자와 외함에서 측정했던 HEV에서와는 다르게 연료전지 스택의 (+), (-) 출력단자와 연료전지 스택의 외함 사이의 절연저항을 측정하였다.

절연저항은 시동 Off, 퓨즈 On(Key on) 상태에서 측정하였으며, 시험전압은 연료전지 스택의 동작전압인 440[V]보다 작은 전압은 250[V], 높은 전압은 500[V]를 인가하여 측정하였다. 측정결과를 표 3에 나타내었다.

표 3 HFCV의 절연저항 측정결과

Table 3 Measurement results of Insulation Resistance for HFCV

측정 대상점	측정결과	시험전압	인가전압	
Stack 외함	연료전지스택	0.13[MΩ]	250[V]	151[V]
	(+) 출력단자	0.13[MΩ]	500[V]	162[V]
	연료전지스택	0.13[MΩ]	250[V]	151[V]
	(-) 출력단자	0.13[MΩ]	500[V]	161[V]

절연저항 측정결과 0.13[MΩ]의 절연저항값이 측정되었다. 연료전지 스택의 작동전압이 440[V]이기 때문에 절연저항값이 0.044[MΩ] 이상이면 규정에 만족하기 때문에 측정값은 규정에 만족하는 절연저항값이라고 할 수 있다. 하지만, 표 3에 나타난 시험전압과 실제 인가전압이 차이가 나는 것을 알 수 있다. 이것은 절연저항계의 최대시험 출력전류가 1mA이기 때문에 절연저항 상태에 따른 시험전류가 1mA가 넘어가면 인가전압에 제한이 걸려 설정된 시험전압이 인가되지 못하게 되어 있는 측정시스템의 설계구조이기 때문에 나타나는 현상이다.

절연저항계는 실제 시험 인가전압이 낮게 인가된다고 해서 절연저항값에 차이가 있는 것은 아니지만, 실제 작동하는 전압에 대하여 절연상태가 안정적인지는 좀 더 검증해야 할 것이다. 또한, 차량의 시스템과 규정에 적합한 측정시스템을 구축하기 위해서는 최소 측정범위와 시험인가전류 등을 고려하여 개발할 필요가 있다.

현재의 전기설비를 측정하는 시스템은 연료전지 스택의 동작전압 이상으로 전압을 인가하였을 때 0.1[MΩ] 이상 측정 가능한 장비들이 대부분이기 때문에 현재의 전기설비를 측정하는 시스템으로 차량에 대하여 측정할 경우 절연상태가 이상이 있는 경우 어느 정도의 절연이 파괴되었는지 판단하기 힘들기 때문에 최소 Vs×100[Ω]의 절연저항이 측정되는 시스템이 필요하다. 향후 HFCV가 상용화되면 자동차용의 절연저항 측정시스템은 차량의 동작특성에 맞는 인가전압과 측정범위를 갖는 측정시스템이 추가로 개발되어야 할 것으로 판단된다.

4. 결 론

환경친화형 미래형 자동차의 고전원 전기장치에서 인체의 직접접촉 및 간접접촉에 의한 감전사고 방지와 절연 열화에 의한 단락 및 지락사고에 의한 전기화재 방지를 위한 절연저항 측정 방법에 대하여 외국의 규격에서 제시하고 있는 방법에 대하여 분석하였으며, 규격과 실차 레벨의 측정을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) GTR 및 ELSA, 관련 국제 규격 등에서 인체 감전보호를 위하여 절연저항에 대한 성능은 100Ω/V[DC], 500Ω/V[AC] 이상으로 유지하도록 규정하고 있다.
- (2) 전기를 동력원으로 하는 연료전지와 구동축전지의 특성과 구조에 따라 절연저항 특성이 다르기 때문에 특성에 맞는 절연저항 측정 기법의 정립이 필요하다.
- (3) 구동축전지만을 전기 동력원으로 사용하는 HEV와 같은 구조의 차량은 고전압 시스템이 전기적 새시와 플로팅되어 있기 때문에 V1, V2를 측정하는데 어려움이 있다. 따라서 구동축전지만을 전기 동력원으로 사용하는 시스템에서는 절연저항 측정시 내부의 전원을 이용하여 측정하는 방법은 오차의 범위가 크게 나타나므로 외부로부터 직류전원을 인가하여 측정하는 방법인 절연저항계를 이용하여 측정해야 할 것이다.
- (4) 연료전지 스택은 냉각수와 시스템의 구조상 내부의 직류전원을 이용하여 측정하는 방법으로 절연저항의 측정이 가능하지만, 연료전지 스택의 부하조건 및 차량 상태에 따라 출력전압이 변동하므로 시험방법 정

립에 있어 차량 상태 등을 명확하게 확립하여 규정화해야 할 것이다.

- [5] HFCV의 외부로부터 직류전압을 인가하는 방법으로 절연저항을 측정하는 경우는 절연상태의 이상 유무와 어느 정도의 절연열화가 이루어졌는지 판단하기 위해서 현재의 전기설비의 절연저항을 측정하는 시스템이 아닌 차량 시스템의 동작특성에 맞는 인가전압과 측정범위를 갖는 측정시스템이 추가로 개발되어야 할 것이다.

**감사의 글**

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

**참 고 문 헌**

- [1] 국토해양부령, “자동차안전기준에 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] 김향곤 외 4, “하이브리드자동차의 전기적 연속성 측정 방법에 관한 연구”, 대한전기학회 전기설비전문위원회 추계학술대회 논문집, pp.273-275, 2008
- [4] 이기연 외 5, “HEV의 전기안전을 위한 절연저항 측정기법에 관한 연구”, 대한전기학회 전기설비전문위원회 추계학술대회 논문집, pp.276-278, 2008
- [5] 이기연 외 5, “HFCV의 감전보호를 위한 전기안전 평가 기법에 관한 연구”, 대한전기학회 전기설비전문위원회 춘계학술대회 논문집, pp.200-202, 2009
- [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.

**저 자 소 개**



**이 기 연 (李 璣 燕)**

1975년 5월 12일생. 2002년 시립인천대 공대 전기공학과 졸업. 2004년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2004년~현재 전기안전연구원 화재감전예방팀 주임연구원  
 Tel : 031-580-3039  
 Fax : 031-580-3045  
 E-mail : lkycj@kesco.or.kr



**김 동 옥 (金 桐 郁)**

1971년 1월 6일생. 1998년 시립인천대 공대 전기공학과 졸업. 2000년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정. 2000년~현재 전기안전연구원 화재감전예방팀 주임연구원  
 Tel : 031-580-3035  
 Fax : 031-580-3045  
 E-mail : dokim@kesco.or.kr



**김 향 곤 (金 珣 坤)**

1970년 12월 14일생. 1996년 조선대 공대 전기공학과 졸업. 2000년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2006년 동 대학원 전기공학과 박사과정. 1996년~현재 전기안전연구원 화재감전예방팀 팀장  
 Tel : 031-580-3031  
 Fax : 031-580-3045  
 E-mail : kon0704@kesco.or.kr



**문 현 옥 (文 鉉 旭)**

1975년 2월 14일생. 2000년 8월 경북대 공대 전자전기공학부 졸업. 2004년 University of Florida, Electrical & Computer Engineering 졸업(석사). 2006년~현재 전기안전연구원 화재감전예방팀 연구원.  
 Tel : 031-580-3038  
 Fax : 031-580-3045  
 E-mail : hwmoom@kesco.or.kr