논 문
58P-3-19

친환경자동차의 인체 안전을 위한 전기적 연속성 측정 연구

Study on the Electric Continuity Measurements of Green Car for Human Body Safety

김 향 곤* · 이 기 연** · 김 동 욱** · 최 효 상†
(Hyang-Kon Kim · Ki-Yeon Lee · Dong-Ook Kim · Hyo-Sang Choi)

Abstract - In this study, we analyzed and experimented about electric continuity for human body safety from green cars. And we compared power systems of HEV and examined about human body effect of current and time. We investigated internal and external standards and regulations for human body safety from high voltage electrical equipments. Indirect contact refers to contact between the human body and exposed conductive parts. According to UNECE R100, ISO 23273-3, ISO 6469-3 and Japanese Regulation Attachment 101, electric continuity between any two exposed conductive parts shall not exceed 0.1Ω. The value of electric continuity was measured below 0.1Ω at the actual condition of green car. We expected that the results of these experiments can utilize to data for electrical safety of green car.

Key Words : Green Car, Electric Safety, Electric Continuity, Electric Shock, High Voltage, HEV, HFCV

1. 서 론

환경오염의 저감과 에너지의 효율적인 이용에 대한 국제적 관심이 고조되고 있으며 이와 관련된 규제가 강화되고 있다. 각국에서 환경오염의 저감을 위한 다양한 방안을 강구하고 있으며 이러한 대책의 일환으로 신재생에너지와 환경 친화 기술의 개발에 박차를 가하고 있다.

대도시 대기환경오염의 주원인은 자동차에 의한 것이다. 이러한 자동차에 의한 환경오염의 저감과 화석에너지의 고갈을 대비한 녹색 친환경자동차의 개발과 보급을 위하여 정부 관계부처에서는 정책적인 지원을 강화하고 있으며 이와 더불어 산업체와 학계, 연구소 등에서 필요한 기술 개발과 전문인력을 양성하고 있다[1,2]. 현재, 개발중이거나 보급되고 있는 친환경자동차 중에서 고전원을 사용하는 자동차로는 순수한 EV(전기자동차;Electric Vehicle), HEV(하이브리드전기자동차;Hybrid Electric Vehicle), HFCV(수소연료전지자동차;Hydrogen Electric Vehicle), PHEV(플러그인 하이브리드자동차;Plug In HEV) 등이 있다. HEV는 국내에서 이미 상용화하여 도로를 운행 중에 있으며 EV의 경우에는 한정된 장소에서 사용되고 있다. 최근 HFCV에 대한 관심이 높아지고 있으며 기존의 엔진방식과 완전히 다른 연료전지(Fuel Cell) 시스템을 이용한 자동차가 머지않아 일반에 선보일 것으로 전망된다. 또한, PHEV의 경우에는 이미 유럽 등 외국에서 상용화되어 운행 중에 있다. 이러한 친환경자동차의 개발과 보급에 맞춰 국토해양부에서는 2009년 1월 기존의 자동차와 달리 고전원을 사용하는 HEV와 EV의 안전 확보를 위하여 고전원 전기장치의 구조 등에 대한 '자동차안전기준에관한규칙'과 '자동차안전기준시행세칙'의 일부를 개정 공포하여 현재 시행되고 있다[3,4].

본 논문에서는 이러한 친화경자동차 중 하나인 HEV의 고전원 전기장치로부터의 인체 안전 확보를 위한 방법 중의 하나인 전기적 연속성에 대하여 연구하였다. 연구내용은 HEV의 동력시스템 및 구동축전지의 정격전압을 비교하였으며 인체 안전과 관련하여 통전전류와 시간에 따른 인체 영향에 대한 국제 기준을 분석하였다. 또한, 친환경자동차의 전기안전 확보를 위한 국내·외 기준을 비교 분석하였으며 제시된 시험방법과 조건을 토대로 실차를 대상으로 전기적 연속성에 대한 측정과 분석을 수행하였다.

본 연구결과를 통하여 향후 EV, HEV, PHEV, HFCV 등 친환경자동차의 고전원 전기장치로부터 인체 안전 확보를 위한 시험 및 평가기법의 개발에 기여하고자 한다.

2. 하이브리드자동차의 동력시스템 비교

광의의 의미로 HEV는 하나의 자동차에 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. HEV의 동력시스템은 그림 1과 같이 크게 직렬형(series type)과 병렬형(parallel type), 직병렬형(series and parallel type)으로 나눌 수 있다. 직렬형은 엔진과 결합되어 있는 발전기를 통해 얻어진 전기에너지를 축전지와 전동기에 공급하는 구조로 되어 있으며 차량의 주행은 전동기에서

* 시니어회원 : 전기안전연구원 재해예방센터 책임연구원
** 정 회 원 : 전기안전연구원 재해예방센터 주임연구원
† 교신저자, 종신회원 : 조선대학교 전기공학과 교수·공박
E-mail : hyosang@chosun.ac.kr
접수일자 : 2009년 6월 20일
최종완료 : 2009년 7월 30일

발생되는 동력만을 이용하는 방식이다. 이 방식은 에너지 회생 측면에서는 아주 우수하나, 가속 성능이나 연속 출력 성능에서는 약간 불리한 방식이다. 병렬형은 소프트타입(soft type)이라고도 하며 기존의 차량시스템과 같이 휠과 엔진, 휠과 전동기가 기계적으로 연결되어 있으며 차량의 구동은 주로 엔진 동력을 이용하며 보조적으로 일정 동력을 전동기가 보조해주는 방식이다. 또한, 직병렬형은 하드타입(hard type)이라고도 하며 발전용 대용량 전기모터, 구동용 대용량 전기모터와 동력분할기구(power split device) 등으로 구성되며 차량의 운전모드에 따라 엔진과 모터가 구동하게 된다. 직병렬형의 HEV는 회생 제동량이 많고 순수한 전기자동차 모드의 구현이 가능하다는 장점이 있다. 그러나 전기적 부분의 비중이 높아 비용이 크다는 단점이 있다[5,6].

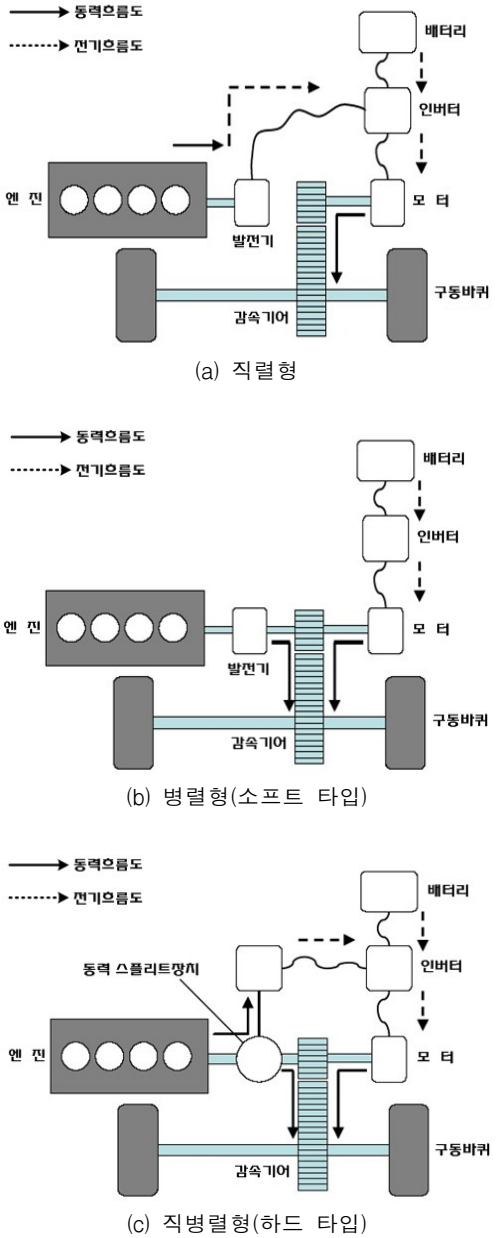


그림 1 HEV의 동력시스템 비교

Fig. 1 Comparison of power system of HEV

표 1은 HEV용 대용량 배터리의 정격전압을 나타낸 것이다. 친환경자동차가 기존의 차량시스템과 구별되는 특징으로 HEV나 EV는 엔진 이외에 동력시스템으로 대용량의 배터리를 탑재하고 있다는 것이다. HEV의 구동축전지(RESS; rechargeable energy storage system)의 정격전압(동작전압;working voltage)은 기아자동차의 HEV 프라이드의 경우 144Vdc이며, 도요타의 푸리우스의 경우 201.6Vdc, 혼다의 시빅은 158.4Vdc로 기존의 승용자동차의 12Vdc에 비해 매우 높다. 이와 같이 높은 동작전압을 사용하는 HEV의 구동축전지, 전력변환장치, 구동전동기 등은 '자동차안전기준에 관한규칙'에서 정의한 고전원 전기장치에 속하며 인체의 전기안전을 위한 설계와 충전부에 대한 직접접촉의 보호를 위한 외함, 격벽 등의 설치와 간접접촉에 대한 보호수단으로 전기적 연속성의 확보, 충분한 절연의 확보, 충분한 내전압의 확보 등이 요구된다.

표 1 HEV 구동축전지의 정격전압 비교

Table 1 Comparison of RESS working voltage of HEV

차 종	구동축전지의 정격전압
프라이드	144.0V(20modules × 7.2V, Ni-MH)
푸리우스	201.6V(28modules × 7.2V, Ni-MH)
시 빅	158.4V(22modules × 7.2V, Ni-MH)

3. 친환경자동차의 인체 안전을 위한 기준 분석

3.1 인체의 전류영향에 대한 기준 분석

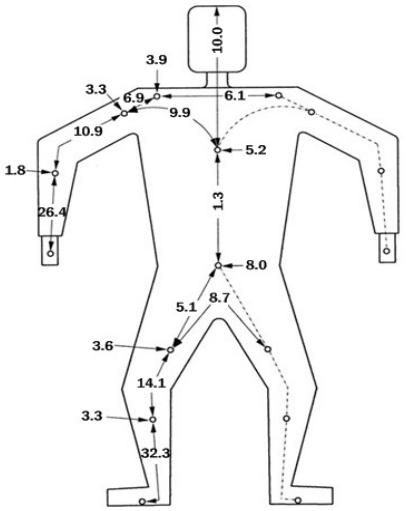
감전에 의한 인체의 영향에 대하여 IEC 60479-1(인체와 가축에 대한 전류의 영향 제1부-일반적인 양상, 2007)에서 규정하고 있다[7]. 이 규격에 따르면 전류의 통전 경로에 대한 인체 위험은 주로 통전전류의 크기와 통전시간에 좌우된다. 전류와 전압 사이의 관계는 인체의 임피던스가 접촉전압(접촉전류로 표시되는 인체를 통과하는 전류와 인체 임피던스의 곱)에 따라 달라지므로 선형적이지 않다. 인체 임피던스는 피부, 혈액, 근육 등 인체 여러 부분에 있어 전류에 대한 저항성분과 커패시턴스성분으로 구성된 임피던스로 나타낸다. 인체 임피던스 값은 많은 인자에 따라 달라지며 특히, 통전경로, 주파수, 접촉전압, 통전시간, 피부의 상태, 접촉면적, 가해진 압력, 온도 등에 따라 달라진다. 인체 내부임피던스(Zi)는 대부분 저항성분으로 고려할 수 있으며 피부임피던스(Zs)는 저항과 커패시턴스의 회로망으로 생각할 수 있다. 높은 접촉전압에서의 피부임피던스는 상당히 감소하며 피부 조직이 파열될 때에는 무시할 정도로 된다. 또한, 피부임피던스는 주파수가 증가할수록 감소하게 된다.

그림 2는 인체의 부분별 내부임피던스(Z_{ip})를 나타낸 것으로 그림 2(a)에서 각각의 숫자는 손에서 발로의 경로에서 몸통의 각 부분에 대한 내부임피던스의 퍼센트를 나타낸 것이다. 손에서 발로의 내부임피던스를 계산해 보면, 26.4+10.9+9.9+1.3+5.1+14.1+32.3=100.0이 된다. 또한, 주어진 경로에 대한 인체 총 임피던스(Z_T)를 계산하기 위하여 접촉부위 표면의 피부임피던스뿐만 아니라 몸통의 모든 부분에 대한 부분별 내부임피던스(Z_{ip})가 더해져야 한다. 몸통 밖에 표시된 숫자는 전류가 그 지점으로 들어갈 때 더해져야 할 내부임

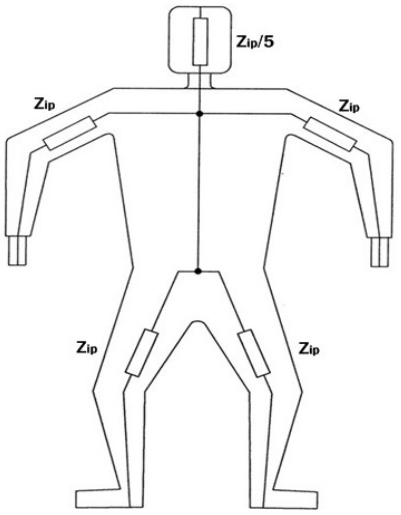
피던스를 나타낸다. 그림 2(b)는 그림 2(a)를 단순화한 인체의 내부 임피던스도를 나타낸 것으로 그림 2(a)의 손에서 몸통까지의 합계는 47.2이며, 몸통에서 발까지의 계산 값은 51.5이다. 이를 통해 한쪽 손에서 양발의 내부임피던스는 손에서 손까지 또는 한쪽 손에서 한쪽 발까지의 임피던스의 약 75%, 양손에서 양발까지의 내부임피던스는 50%, 그리고 양손에서 몸통까지의 임피던스는 25%를 나타낸다.

$$Z_T = Z_{s1} + Z_i + Z_{s2} \quad \text{.....(1)}$$

여기서, Z_T : 인체 총 임피던스, Z_i : 인체 내부임피던스
Z_{s1}, Z_{s2} : 피부임피던스



(a) 부분별 내부임피던스



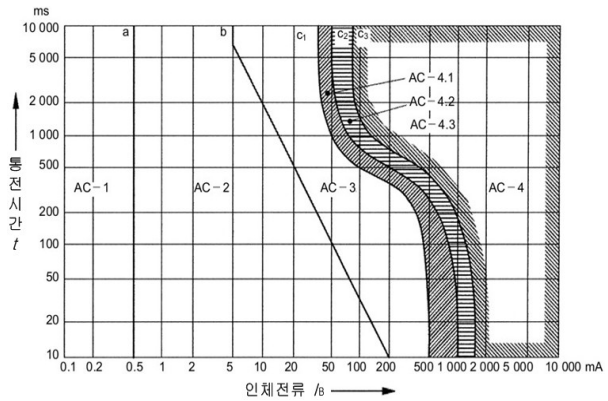
(b) 단순화한 내부임피던스도

그림 2 인체의 내부임피던스(Z_{ip})
Fig. 2 Internal impedance of human body

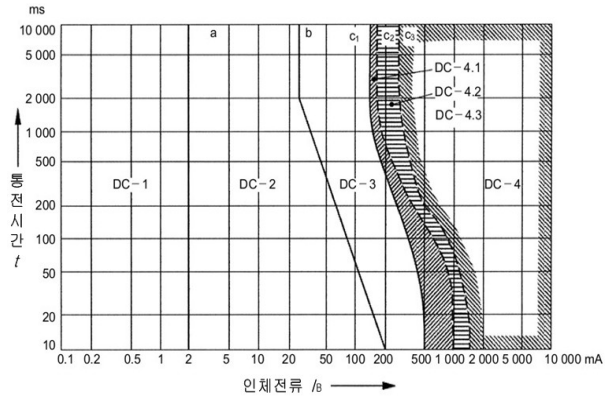
그림 3은 인체 통전전류의 크기와 통전시간에 따른 인체의 반응을 나타낸 그래프이다. 그림 3(a)은 교류(15~100Hz)에서 손에서 양발로의 통전경로일 때의 특성을 나타낸 것이다. AC-1 영역은 0.5mA(곡선 a)까지의 영역으로 전류의 감지는 가능하나 놀라는 반응은 아닌 영역이며, AC-2는 0.5mA에서 곡선 b까지의 영역으로 전류의 감지 및 비자의적인 근육수축이 발생할 수 있으나 일반적으로 유해한 전기생리적인 영향은 없는 영역이다. AC-3은 곡선 b와 곡선 c1 사이의 영역으로 강한 비자의적인 근육의 수축과 호흡 곤란, 회복 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 3(b)은 맥동이 없는 직류에서의 인체 영향을 나타낸 것이다. DC-1은 2mA(곡선 a)까지의 영역으로 전류의 흐름, 차단 또는 갑작스런 전류 방향의 전환시 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-3는 곡선 b에서 곡선 c1사이의 영역으로 강한 비자의적인 반응과 전류의 크기 및 시간이 증가함에 따라 심장의 회복 가능한 기능장애 및 박동의 전도가 일어날 수 있다. 일반적으로 신체 기관의 손상은 예측되지 않는 범위이다.

AC-4와 DC-4 영역은 심장마비, 호흡정지 및 화상 또는 다른 세포의 손상과 같은 병리생리학적인 영향을 일으킬 수 있으며 전류의 크기 및 시간이 증가함에 따라 심실세동의 가능성이 커지게 된다.



(a) AC에서의 인체 영향 곡선



(b) DC에서의 인체 영향 곡선

그림 3 교류 및 직류전류 영향의 일반적인 시간/전류 영역
Fig. 3 Effects of AC and DC in normal time/current zone

그림 3과 같이 교류 전원의 경우, 인체에 생리학적으로 이상이 없는 전류 범위는 AC-1과 AC-2 영역임을 알 수 있으며 지속적으로 전류가 흐르더라도 안전한 전류 크기는 최대 5mA임을 알 수 있다. 또한, 직류 전원의 경우 인체 생리학적으로 안전한 전류범위는 DC-1과 DC-2 영역이며 연속적인 통전에도 안전한 전류 크기는 약 26mA 까지임을 알 수 있다. 그러나 이 값은 실제 사고시의 인체의 조건 및 접촉 조건, 접촉 시간 등에 따라 부상이나 사망 등 다른 결과를 가져올 수도 있다.

3.2 친환경자동차의 전기안전 관련 국내 기준 분석

국토해양부에서 2009년 1월 공포한 '자동차안전에관한규칙' 내용 중 인체의 전기안전과 관련된 내용을 살펴보면 다음과 같다. 제2조 정의에서, "하이브리드자동차란 원동기로서 내연기관 및 전동기를 갖추고 휘발유・경유・액화석유가스・천연가스 또는 기타 연료와 전기에너지를 조합하여 동력원으로 사용하는 자동차를 말하며, 전기자동차라 함은 전기공급원으로부터 충전받은 전기에너지를 동력원으로 사용하는 자동차를 말한다"하고 규정하고 있다. 또한, "고전원 전기장치라 함은 작동전압이 직류 60V 또는 교류 25V(실효치)를 초과하는 전기장치(구동전동기, 전력변환장치, 구동축전지 등)를 말하며, 활선도체부라 함은 통상 사용상태에서 전기적으로 통전되는 도체 또는 도전성 부위를 말한다"라고 규정하고 있다. 또한 제18조2에 고전원 전기장치 부분을 새로이 신설하여 친환경자동차로부터의 인체 전기안전 확보를 위한 기준을 정립하였다. 그 내용을 몇 가지 살펴보면, "고전원 전기장치 간 전기배선의 피복은 주황색으로 할 것", "고전원 전기장치간 전기배선은 노출된 활선도체부가 없고 중간에 이음부가 없을 것", "고전원 전기장치에는 감전에 대한 경고표시를 할 것" 등이다.

현재, HFCV에 대한 국가 간 기준의 정립을 위한 국제회의가 진행 중에 있으며 머지않아 확정되어 발표될 것으로 전망된다.

3.3 전기적 연속성에 관한 국제 기준 분석

전기적 연속성과 관련된 국제 기준, 규격으로는 UNECE (United Nations Economic Commission for Europe) R 100(1997), ISO 6469-3, ISO 23273-3, Japanese Regulation Attachment 101[5-8] 등이 있다. 전기적 연속성과 관련한 시험방법과 조건, 시험결과에 대한 내용을 분석해 보면 다음과 같다[8-11].

UN/ECE 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 하며 시험전류는 최소 0.2A 이상으로 하도록 정하고 있다.

ISO 6469-3(electric road vehicle-safety specifications, 2007 CD)에 의하면 작동전압이 교류 25V, 직류 60V를 초과하는 B급 전압 전기장치의 외함을 포함한 노출도전부(exposed conductive part)의 등전위 저항은 25A의 시험전류에서 두 노출도전부에 5초간 인가하였을 때 0.1Ω 초과하면 안 된다고 되어 있다. 또한, ISO 32373-3(fuel cell road vehicle- safety specifications, 2006.)에서도 전기적 연속성에 대하여 규정하고 있으며, 60Vd.c.를 초과하지 않는 무부하 전압을 가진 소스로부터 인출한 25Ad.c. 전류를 어떤 두 노출도전부 사이에 적어도 5초 동안 인가하며 어떤 두 노출도전성 부분의 전압 강하을 측정하고 전류와 전압강하로 부터 계산된 저항은 0.1Ω를 초과하지 않아야 한다고 규정하고 있다.

일본의 Japanese Regulation Attachment 101에서는 전기적 섀시와 모든 노출 도전 부품사이의 저항은 최소 0.2A의 전류로 측정했을 때 0.1Ω를 넘지 않도록 하고 있다.

현재, 이러한 기준이나 규정들의 표준화가 진행 중에 있다. 이상의 국제 기준이나 규격을 분석한 결과, 측정조건에 있어 약간의 상이한 점은 있으나 전기적 연속성의 확보에 있어 모두 시험 결과 값을 0.1Ω 이하로 규정하고 있음을 알 수 있다.

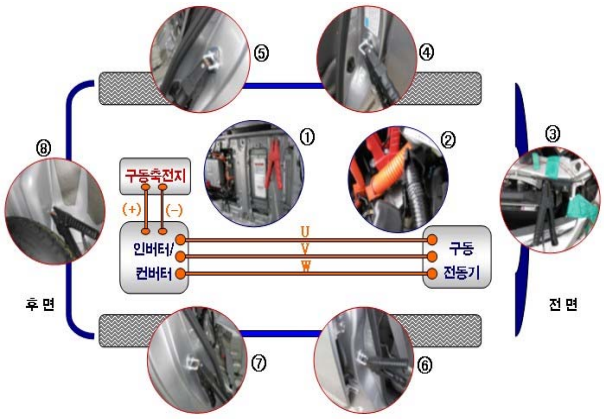
4. 친환경자동차의 전기적 연속성 실험 및 분석

4.1 실험방법

간접접촉에 의한 감전사고를 방지하기 위하여 도전성의 배리어(격벽), 커버(덮개), 외함 등 노출도전부가 위험한 전위를 일으키지 않도록 용접, 볼트체결, 전선 접속 등의 방법으로 전기적 섀시와 전기적으로 접속하여야 하는데, 이러한 전기적 접속을 통하여 전기배선의 열화나 절연 파괴 등에 의해 누전이 발생한 경우 누설되는 전류가 전기적 섀시를 통하여 흐를 수 있게 된다. 이 때, 서로 전기적으로 연결되어 있지 않은 금속계통에 인체가 동시에 접촉한 경우, 인체에는 접촉전압이 인가되어 감전사고로 이어질 수 있다. 그러나 노출도전부가 서로 전기적으로 연결되어 있는 경우에는 서로 다른 금속계통에 동시에 접촉하여도 인체를 통해 흐르는 전류가 제한되므로 감전사고의 위험이 적어진다.

그림 4는 친환경자동차에 있어 노출도전부에 대한 전기적 연속성을 측정하기 위한 측정 모습과 측정 포인트를 나타낸 것이다. 전기적 연속성의 측정에는 초저항측정기(C.A 6250, Chauvin Arnoux, France)를 사용하였으며, 그림 4(b)와 같이 구동축전지 외함(①), 구동전동기 외함(②)과 차량전방(엔진룸)부분(③), 좌우측 앞문의 외함(④,⑤,⑥,⑦), 차량 후방(트렁크)부분(⑧) 사이의 전기적 저항을 측정하였으며 이때의 시험전류는 10A로 하였다.

(a) HEV의 전기적 연속성 실측 장면



(b) 전기적 연속성 측정점

그림 4 HEV의 전기적 연속성 측정

Fig. 4 Electric continuity measurements of HEV

4.2 결과 및 고찰

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 2는 그림 4와 같이 각 측정점에서 전기적 연속성을 측정한 결과를 나타낸 것이다. 실측 결과에서 알 수 있듯이 측정값들이 UNECE R 100, ISO 6469-3, ISO-23273-2, Japan Attachment 101 등 국외의 기준, 규격에서 정하고 있는 0.1Ω 보다 작았으며, 측정점에 따라 약간의 저항 차이가 있음을 알 수 있었다. 또한, 구동축전지 외함과 차량 우측 앞문, 구동전동기 외함과 차량 우측 앞문과의 전기적 저항이 다른 부분에 비해 상당히 높음을 알 수 있었으며 이는 차량 우측 앞문 부분이 다른 부분에 비해 구조적으로 전기 저항이 높은 것으로 추정된다.

표 2 전기적 연속성 측정 결과

Table 2 Measuring results of electric continuity

측정 기준점	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

이상과 같이 측정된 값들은 국제 기준 또는 규격에 명시된 값 범위 안에 있음을 알 수 있으며 향후 자동차 차체 설계 및 제작시 전기적 연속성도 고려해야 할 것으로 판단된다. 또한, 전기적 연속성(등전위저항)과 관련하여 각각의 규정이나 기준에서 명시하고 있는 내용을 현장에 적용함에 있어 보다 명확한 측정점의 제시가 필요한 것으로 실측 결과 확인되었다.

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.

5. 결 론

이상과 같이 친환경자동차인 HEV의 인체 안전을 위한 전기적 연속성에 대하여 실험, 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

HEV의 동력시스템은 직렬형, 병렬형(소프트 타입), 직병렬형(하드 타입)으로 나뉘며 현재, 개발, 보급되고 있는 HEV의 구동축전지의 정격전압이 144Vdc ~ 201.6Vdc로 기존 차량의 축전지 전압보다 매우 높아 인체의 전기안전 확보를 위한 설계, 제작, 시험평가 및 유지관리 기술의 개발이 필요함을 알 수 있었다.

통전전류와 시간에 따른 인체 영향에 대한 규격을 분석한 결과, 인체의 조건 및 접촉 조건, 접촉 시간 등에 따라 달라지지만 일반적으로 직류의 경우 26mA까지 연속적으로 통전 가능한 것을 알 수 있으며 교류의 경우에는 5mA까지 연속통전이 가능함을 알 수 있었다.

국내외 규정, 기준 등에서 고전원 전기장치로부터의 간접접촉에 의한 인체 안전 확보를 위하여 노출도전부와 노출도전부 사이의 전기적 연속성을 0.1Ω 이하로 유지하도록 하고 있으며 이는 인체가 누전되고 있는 차량의 도전성 부분에 접촉하였을 때의 인체 통전전류를 제한하여 감전에 의한 피해를 최소화하기 위한 것으로 판단된다. 기준이나 규격에서 전기적 연속성의 측정 조건에 있어 약간의 상이한 점이 있으며 향후 기술적 검증을 통해 일원화(unification)가 요구된다.

실제 HEV을 대상으로 노출도전부 사이의 전기적 연속성을 측정한 결과, 측정기준점과 대상측정점간의 전기저항이 국제기준이나 규정에서 명시하고 있는 0.1Ω 이하로 양호한 결과를 나타냈다. 그러나 일부 측정점의 전기저항은 다른 측정점 보다 높게 나타나 차량 레벨에서의 일정한 전기적 연속성 확보를 위해 차량의 차체 설계시 전기적 특성도 고려할 필요가 있으며 규정하고 있는 값을 넘지 않도록 지속적으로 유지할 수 있는 방안의 검토와 규정 값 이상의 이상현상이 발생하였을 때 경보하는 시스템의 개발도 필요함을 알 수 있었다.

본 연구결과는 고전원 전기장치가 포함된 EV, HEV, HFCV, PHEV 등의 전기안전성 확보를 위한 자료로 활용 가능할 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

[1] 김향곤 외 45, “하이브리드 자동차의 전기적 연속성 측정 방법에 관한 연구”, 대한전기학회 추계학술대회 pp.273-275, 2008.9

[2] 이기연 외 5, “하이브리드 자동차용 고압 케이블의 온도 특성에 관한 연구”, 대한전기학회 논문지, Vol.57P, No.3, pp.338-342, 2008.9
[3] 국토해양부, “자동차안전기준에관한규칙”, 국토해양부령 제94호, 2009.1
[4] 국토해양부, “자동차안전기준시행세칙”, 국토해양부고사 제2009-78호, 2009.2
[5] 박영일, 임원식, “하이브리드자동차의 개발 역사 및 최신기술 동향”, 자동차공학회지, 제23권 제5호, pp.29-33, 2001.10
[6] 신재곤, 정기범, 최재훈, “하이브리드자동차 및 최근 자동차 EMC 기술동향”, 한국전자파학회지, 제16권 제1호, pp.35-44, 2005.1
[7] 기술표준원, “KS C IEC 60479-1(인체와 가축에 대한 전류의 영향-제1부:일반적인 양상”, 2007.11
[8] ECE Regulation 100, “Unification provisions concerning the approval of battery electric vehicles with regard to specific requirements for the construction and functional safety”, UN, 1997.4
[9] ISO 6469-3(CD), “Electric road vehicles - Safety specifications-Part 3 : Protection of persons against electric shock”, 2007.11
[10] ISO 23273-3, “Fuel cell road vehicles - Safety specifications-Part 3 : Protection of persons against electric shock”, 2006.11
[11] Japanese Regulation attachment 101, “Technical standard for protection of occupants against high voltage in fuel cell vehicles”, 2007.

저 자 소 개

김 향 곤 (金 珦 坤)

1970년 12월 14일생. 1996년 조선대학교 전기공학과 졸업. 2000년 동 산업대학원 전기공학과 졸업(석사). 2008년 동 대학원 전기공학과 박사과정 수료. 1996년~현재 전기안전연구원 재해예방센터 화재감전예방팀장, 책임연구원.
Tel : 031-580-3031
Fax : 031-580-3045
E-mail : kon0704@kesco.or.kr

이 기 연 (李 璣 燕)

1975년 5월 12일생. 2002년 2월 시립인천대 전기공학과 졸업. 2004년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2004년~현재 전기안전연구원 재해예방센터 주임연구원.
Tel : 031-580-3039
E-mail : lkycj@kesco.or.kr

김 동 욱 (金 桐 郁)

1971년 1월 6일생. 1998년 2월 인천대학교 전기공학과 졸업. 2000년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 2000년~현재 전기안전연구원 재해예방센터 주임연구원.
Tel : 031-580-3035
E-mail : dokim@kesco.or.kr

최 효 상 (崔 孝 祥)

1966년 2월 21일생. 1989년 전북대학교 전기공학과 졸업. 1994년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2000년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1995~2003년 한전 전력연구원 선임연구원. 2003년~현재 조선대학교 전기공학과 교수.
Tel : 062-230-7025
Fax : 062-230-7020
E-mail : hyosang@chosun.ac.kr