

# 하이브리드 자동차용 고압 케이블의

## 온도 특성에 관한 연구

論 文

57P-3-23

### A Study on the Temperature Characteristics of High Voltage Power Cable for Hybrid Electric Vehicle

李 璣 燕<sup>†</sup> · 金 東 佑<sup>\*</sup> · 金 桐 郁<sup>\*</sup> · 吉 亨 准<sup>\*\*</sup> · 金 珣 坤<sup>\*\*\*</sup> · 崔 忠 錫<sup>§</sup>

(Ki-Yeon Lee · Dong-Woo Kim · Dong-Ook Kim · Hyoung-Jun Gil · Hyang-Kon Kim · Chung-Seog Choi)

**Abstract** - Hybrid Electric Vehicle(HEV) is driven by an internal-combustion engine and an electric motor. It is a combination of an internal-combustion engine and several electrical equipments which use a high voltage battery, an electric motors, an inverter and others. But there is not any separate detailed enforcement regulations for high voltage electric appliances in the existing vehicle-related safety standards. So, test standards suggestion as well as test technique development need to be done for ensuring electrical safety, for an electric motor, a high voltage battery, a(n) inverter/converter and an electric power transmission units and other equipments to ensure the safety of high voltage electric appliances which is the HEV key electrical component. In this paper, We are to provide helpful data to support test technique development and test standard establishment for HEV design and electrical safety security by the following methods; by measuring the voltage, the electric current, and the frequency of HEV, by analyzing electrical characteristics of high voltage electric appliances, and by analyzing temperature characteristics of the electrical current among the analyzed electrical characteristics by thermal imaging cameras.

**Key Words** : HEV, High Voltage System, Temperature Characteristics, Power Cable for HEV

#### 1. 서 론

지구 대기오염의 주원인이 자동차 배기가스에 의해서 발생하고 있으며, 국제적으로 환경오염에 대한 제재 수준이 점차 강화되고 있는 추세로 바뀔에 따라 이에 부합하는 저공해의 환경 친화적인 자동차의 개발과 보급이 요구되고 있는 실정이다. 이에 부합하는 자동차로 전기자동차(EV; Electrical Vehicle), 하이브리드자동차(HEV; Hybrid Electrical Vehicle), 연료전지자동차(FCV; Fuel Cell Vehicle) 등이 개발되고 있다. 특히 HEV의 경우는 1997년 상용화를 시작하여 2004년 미국 내의 상반기 자동차 판매량의 2.3 [%]를 차지할 만큼 많이 보급되고 있는 상황이며, 2008년도에는 세계 자동차 시장에서 75만대의 시장규모를 형성할 것으로 예측되고 있다[1-4].

HEV는 기존의 내연기관 자동차나 전기자동차와 구조, 특

성 등에서 차이가 있으며 안전과 관련된 국내 기준의 정립이 진행 중에 있는 상태이다. 국제적으로도 이에 대한 기준 정립회의가 진행 중에 있기 때문에 HEV 산업의 발전과 안전성 확보를 위하여 안전을 고려한 설계 및 시험 기준이 필요한 상황이다.

HEV는 엔진과 모터의 주행동력 전달방식에 따라 직렬방식과 병렬방식, 직·병렬형(split type)으로 구분할 수 있다. 병렬형은 소프트 하이브리드 전기자동차(Soft HEV)라고 하며, 직·병렬형은 하드 하이브리드 전기자동차(Hard HEV)라고 한다. Soft HEV에 해당하는 KIA Pride는 엔진과 변속기 사이에 전기모터를 삽입한 형태이며, 전기 모터는 보조 동력 역할만 수행하는 특징이 있다. 그리고 전기적 부분의 비용이 저렴하지만 전기모터의 용량이 소형이라 회생 제동량이 적은 단점이 있다. 또한, Hard HEV에 해당하는 TOYOTA Prius는 변속기와 구동용, 발전용의 대용량의 전기모터가 2개 있으며, 엔진 및 전기모터 2개의 동력을 분할 또는 통합하는 유성 기어 형식의 동력분할 기구(Power Split Device)를 사용하는 구조로 되어있다. Hard HEV는 동력 전달 구조상 엔진을 동력 라인에서 전기모터와 분리할 수 있으며, 회생 제동량이 많은 특징이 있기 때문에 연료 효율이 좋고 순수 전기자동차 모드의 구현이 가능한 장점이 있는 반면, 2개의 모터와 MCU 및 대용량의 고압 배터리가 필요로 하는 등의 전기적 부분의 비중이 높아 비용이 비싼 단점이 있다. 이러한 하이브리드 자동차는 기존의 내연기관 시스템에 고압 배터리 및 배터리 컨트롤러, 인버터/컨버터, 전기모터 등이 추가된 구조로 되어 있다[5-6]. 그러나 현재 자동차 관련

<sup>†</sup> 교신저자, 正會員 : 電氣安全研究院 研究員

E-mail: lkycj@kesco.or.kr

<sup>\*</sup> 正會員 : 電氣安全研究院 研究員

<sup>\*\*</sup> 正會員 : 電氣安全研究院 前任研究員 · 工博

<sup>\*\*\*</sup> 正會員 : 電氣安全研究院 責任研究員

<sup>§</sup> 正會員 : 全州大學校 消防安全工學科 教授 · 工博

接受日字 : 2008年 7月 15日

最終完了 : 2008年 7月 28日

안전기준에는 고전압 전기장치에 관한 기준 및 시행세칙이 별도로 제정되어 있지 않기 때문에, HEV의 핵심 전기부품인 고전압 전기장치의 안전 확보를 위하여 전기모터, 고전압 배터리, 인버터/컨버터 및 전력전송부분 등의 전기안전을 위한 평가기법의 개발과 함께 전기안전을 위한 시험 기준의 제시가 요구된다.

본 논문에서는 HEV의 데이터 취득 시스템에 의한 전압, 전류 및 주파수를 측정하여 고전압 전기장치의 전기적 특성을 분석하였으며, HEV에 고전원 부분 전력전송에 사용되는 고전원 케이블의 전류에 따른 온도 특성을 적외선 열화상 카메라를 이용하여 측정, 분석하였다. 이러한 실험, 분석 결과를 통하여 HEV 차량의 설계 및 전기안전을 위한 평가기법을 개발하고 시험기준을 마련하는데 도움을 주고자 한다.

## 2. 실험방법

### 2.1 HEV의 전기적 특성 실험

HEV의 전기적 특성을 분석하기 위하여 그림 1과 같이 실험 장치를 구성하였다. 실험 장치는 NI DAQ(PXI-1042, 8186 NI, USA)를 사용하였으며, Labview로 프로그래밍하여 전압·전류 데이터를 실시간으로 측정하였다. 전류는 AC/DC 겸용의 Bandwidth 20 kHz의 PR630의 전류 센서를 사용하였으며, 전압은 PXI-4071(AC/DC 1000 V(r.m.s), Bandwidth 300 kHz, Resolution 100  $\mu$ V)을 이용하여 측정하였다. HEV의 전압·전류 측정 포인트는 High Voltage Battery와 MCU(Motor Control Unit)간의 충·방전되는 DC 배터리, MCU와 전기모터 사이의 모터 구동 전원을 측정하였다.

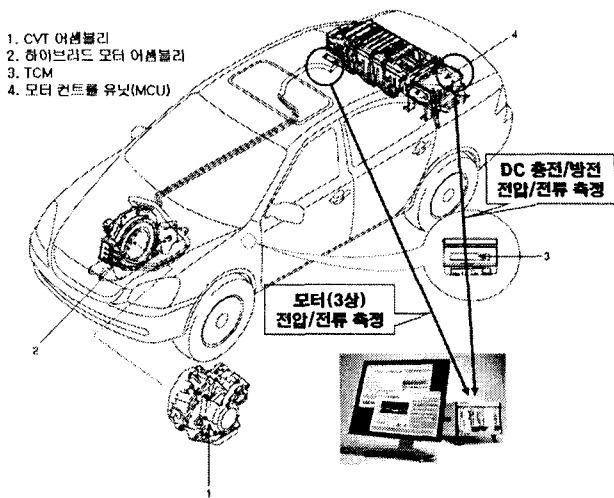


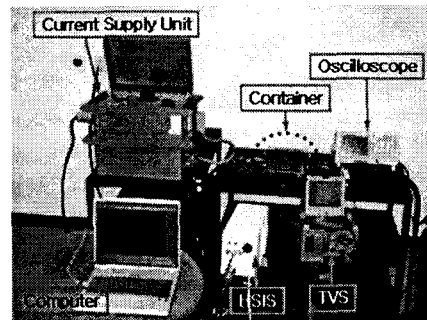
그림 1 HEV의 전기적 특성 측정을 위한 시스템의 개략도  
Fig. 1 Schematic diagram of system for measuring electrical characteristics of HEV

### 2.2 고전압 케이블의 온도특성 특성 실험

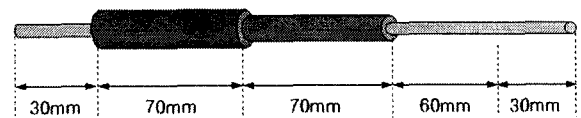
고전원 전기모터와 인버터의 연결 및 전력전송 부분과 컨버터와 고전원 배터리의 연결 및 전력전송 부분에서 측정된 전기적 특성을 통하여 전기적 용량에 맞는 적정 케이블의 선정을 위하여 A모델 HEV에서 사용된 케이블의 전기적 특성 및 온도 특성 분석을 위한 다음의 실험과 전선 사양의

전류와 실제 측정 전류에 대한 케이블의 전류-온도 변화를 통하여 적정 케이블 선정에 대하여 검토하였다.

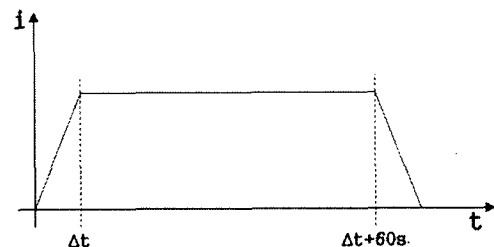
그림 2에서 전류에 따른 온도 변화를 측정하기 위한 실험 장치를 나타내었다. 그림 2 (a)에 나타낸 것과 같이 고전원용 전선에 대전류 공급장치(ODEN 1X, Progamma, Sweden)로 전류를 공급하고, 적외선 열화상 카메라(TVS-8500, Avio, Japan)로 전선에 나타나는 온도 분포를 측정하였다. 실험 대상의 전선 시료는 (b)에 나타낸 방법으로 시료를 준비하였으며, 전선에 전류 인가 방법은 (c)에 나타낸 것처럼 약 5 [sec] 정도의 상승 시간으로 전류를 일정 전류로 상승시킨 후 60 [sec] 동안 지속시킨 후 전선의 온도 특성을 측정하였다. 전선에 인가하는 전류( $\Delta t$ )는 50 [A], 100 [A], 150 [A], 200 [A]를 공급하였으며, 그 때의 전선의 열적 분포를 적외선 열화상카메라로 2차원(2D)과 3차원(3D)의 이미지를 측정하였다.



(a) Schematic diagram of experimental setup



(b) Sample cable



(c) Electric current supply method

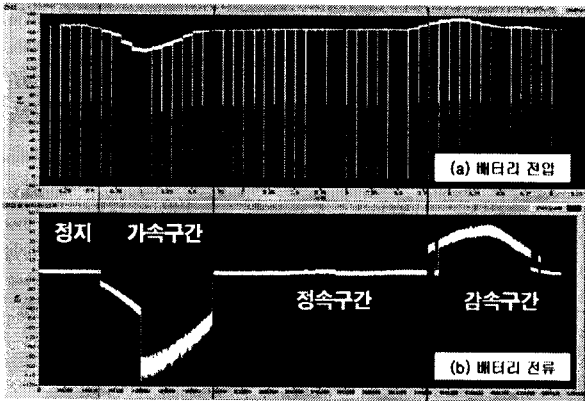
그림 2 온도특성 분석을 위한 실험 방법  
Fig. 2 Experiment method for the temperature characteristics analysis

## 3. 결과 및 고찰

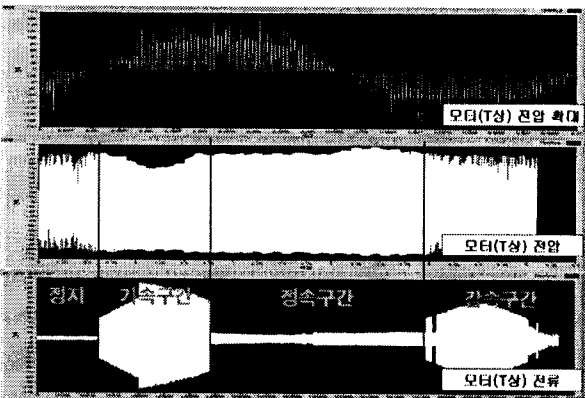
### 3.1 HEV의 전기적 특성 분석

그림 3은 A모델 HEV의 전기적 특성을 분석한 것으로 실험 조건은 에어컨 Full 가동 상태에서 실험하였으며, 운행조

건은 정지 → 급가속(100 [km/h]) → 110 [km/h] 정속 → 급제동의 조건으로 실험하였다. 그림 3(a)는 DC 배터리의 전압·전류를 측정 한 것으로 Assist 모드에서의 최대 전류값은 약 DC 115 [A]로 측정되었으며, 충전 모드에서의 최대 전류값은 약 50 [A]로 측정되었다. 또한, 배터리 전압은 약 DC 170 [V]로 측정되었다. 그림 3(b)는 AC 3상 모터의 전압·전류를 측정 한 것으로, Assist 모드에서의 최대 전류값은 AC 120 [A]로 측정되었으며, 충전 모드에서의 최대 전류값은 AC 80 [A]로 측정되었다. 또한, 전압은 약 AC 120 [V]로 측정되었다.



(a) Voltage and electric current of DC battery



(b) Voltage and electric current of AC motor

그림 3 HEV의 전압·전류 전기적 특성

Fig. 3 Electrical characteristics of voltage and current for HEV

그림 4는 주행 조건에 따라 모터 전류가 최대 측정될 때의 모터 전류와 FFT(Fast Fourier Transform) 분석을 나타낸 것으로 AC 3상 모터 전류를 구간별로 확대해 보면 Assist 모드에서의 최대 전류값은 AC 200 [A], 충전 모드에서의 최대 전류값은 AC 190[A]로 나타나며, 각 구간마다 전류의 주파수 값이 변하는 것으로 알 수 있었다[7]. 이러한 주파수 변동을 해석하기 위하여 측정된 모터 전류의 FFT 분석을 하면 약 316 [Hz], 400 [Hz] 대역의 주파수가 많이 나타나는 것을 알 수 있다. 그림 3의 결과와 같은 주파수의 변동은 인버터/컨버터의 스위칭 주파수의 변동과 함께 충전 모드 시 모터에서 발전되는 전류의 변화가 크기뿐만 아니라 주파수의 변화에도 영향을 끼친다는 것을 알 수 있다.

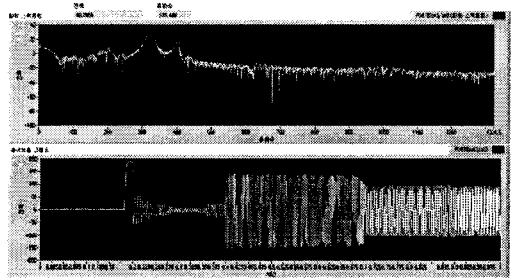


그림 4 모터 전류의 FFT 분석

Fig. 4 FFT analysis of motor current

### 3.2 고전압 케이블의 온도 특성 분석

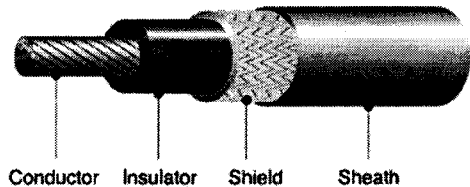
그림 5는 A 모델 HEV에서 사용하는 고전압용 케이블을 나타낸 것이다. 그림 5(a)는 고전압 배터리와 인버터 사이에 연결되어 있는 케이블의 구조를 나타낸 것이며, 그림 5(b)는 인버터와 전기모터 사이에 연결되어 있는 케이블의 구조를 나타낸 것이다. 두 케이블 모두 그림 5(c)와 같은 구조로 되어 있다. 그림 5(a)의 케이블은 0.45 [mm] 전선이 50 가닥으로 구성된 그림 5(d)에 나타낸 Ⅰ의 적색 파선으로 표시된 사양을 가지고 있다. 그림 5(b)의 케이블은 0.32 [mm] 전선이 9 가닥으로 구성된 소선(1개의 소선은 연선 19 가닥으로 구성)으로 되어 있는 그림 5(d)에 나타낸 Ⅱ의 청색 점선으로 표시된 사양을 가지고 있다. 사양의 허용 온도를 확인해보면 절연물의 허용 온도는 120 [°C](내열케이블의 경우 150 [°C])로 확인되었다[8].



(a) Cable between high voltage battery and inverter



(b) Cable between inverter and motor



(c) Schematic diagram of cable structure

Nominal cross section (mm <sup>2</sup> )	Conductor construction (copper) (Conductor/mm)	Conductor outside diameter (mm)	Insulation thickness (mm)	Sheath thickness (mm)	Finished outside diameter (mm)	Continuous current capacity [A]	
						Standard	Heat resistance
8	500/0.45	3.7	0.9	0.8	7.7	70	85
15	19/9/0.32	5.4	1.1	1.0	10.5	96	115
20	19/13/0.32	6.5	1.1	1.0	11.5	115	140
30	19/19/0.32	7.9	1.1	1.2	13.4	145	180
40	19/26/0.32	9.5	1.4	1.2	15.6	180	225

\* Ambient temperature 80 deg.C

(d) Specification of cable(Hitachi cable)

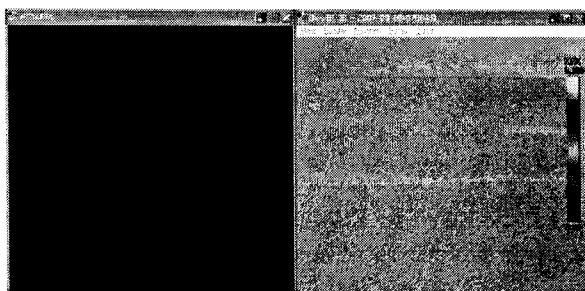
그림 5 A 모델 HEV 케이블의 구조 분석

Fig. 5 Structure analysis of A model cable for HEV

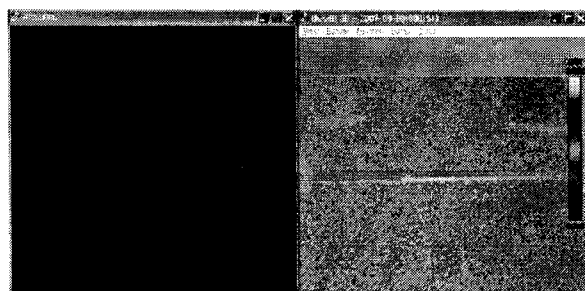
A 모델 HEV의 측정된 고전원 배터리와 인버터 간의 최대전류는 약 73 [A]로 나타났으며, 이 부분에서 사용하고 있는 전선은 Hitachi사의 8 [mm] 전선을 사용하고 있다. 사용 전선의 특성을 살펴보면 도체의 연속 허용 전류 용량은 70 [A](내열전선의 경우 85 [A])로 나타났다. 또한, 전기모터와 인버터 간의 최대전류는 약 200 [A]로 나타났으며, 이 부분에서 사용하고 있는 전선은 Hitachi사의 15 [mm] 전선을 사용하고 있다. 사용전선의 특성을 살펴보면 도체의 연속 허용 전류 용량은 95 [A](내열전선의 경우 115 [A])로 나타났다(주변온도 80 [°C]). 사용된 전선의 특성과 측정된 전기적 특성을 비교하여 보면, 측정된 전류용량이 전선의 연속 허용 전류보다 크게 나타나 있는 것을 알 수 있다.

그림 6은 A 모델 HEV에서 사용한 모터 전선에 대한 전류에 따른 온도 변화를 측정된 것으로 전류에 따른 전선의 각각의 이미지를 분석해보면 그림 6(a)에서는 50 [A]를 전선에 흘렸을 때 나타나는 열화상 이미지로써 최대 온도는 insulator 부분에서 약 30 [°C]가 측정되었다. 그림 6(b)는 100 [A], 그림 6(c)는 150 [A], 그림 6(d)는 200 [A]를 각각 전선에 흘렸을 때의 열화상 이미지를 나타낸 것으로, 각각의 최대 온도는 절연체 부분에서 약 35 [°C], 46 [°C], 66 [°C]가 측정되었다. 실험 결과로부터 내부전선을 둘러싸고 있는 절연체 부분의 온도가 제일 높게 나타나는 것은 열의 축열 및 방열과 관계가 있으며, 향후 모터 전선의 선정 시 각부의 발열특성을 고려하여 전선을 선정해야 한다는 것을 알 수 있다. 또한, 전선에서 나타나는 최대 온도는 200 [A]를 공급했을 때 약 66 [°C]로 측정되었다.

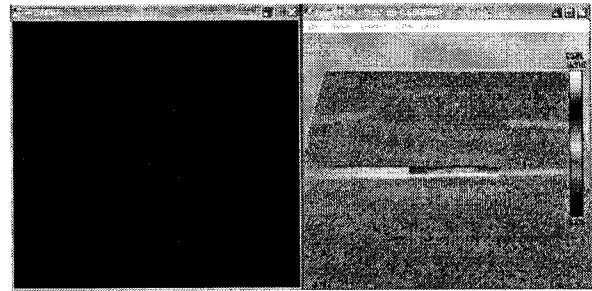
실험 결과로부터 사용 전선의 특성과 실측된 전선의 전류 용량은 차이가 있지만, 온도 특성 분석을 통하여 용량에 따른 전선의 굵기가 비교적 안정적인 것으로 나타났다. 하지만, 향후 케이블의 경년 열화와 사용 환경 조건에 따른 케이블에 대한 다각적인 분석이 필요할 것이다.



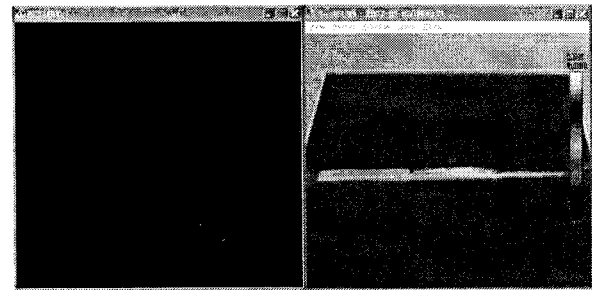
(a) 50 [A](Temp. Max; about 30°C)



(b) 100 [A](Temp. Max; about 35°C)



(c) 150 [A](Temp. Max; about 46°C)



(d) 200 [A](Temp. Max; about 66°C)

그림 6 인버터-모터 전선의 온도 특성

Fig. 6 Temperature characteristic of inverter-electric motor cable

#### 4. 결 론

국내에서 운행되고 있는 하이브리드 자동차의 전기적 특성과 고전압용 케이블에 대한 열 특성 실험결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

##### (1) HEV 자동차의 전기적 특성

인버터와 고전원 배터리 사이의 최대전압 및 최대전류는 약 DC 170 [V], 73 [A]로 측정되었으며, Hitachi사의 8 [mm] 케이블을 사용하고 있는 것으로 나타났다. AC 모터와 인버터 사이의 최대전압 및 최대전류는 약 AC 120 [V], 200 [A]로 측정되었으며, Hitachi사의 15 [mm] 케이블을 사용하고 있는 것으로 나타났다. 또한, 모터 전류의 주파수는 약 68~500 [Hz]의 다양한 주파수가 측정되었으며, FFT 분석을 통하여 약 316 [Hz], 400 [Hz] 대역의 주파수가 가장 많이 나타난 것을 확인하였다. FFT 분석을 통한 주파수의 변동은 인버터/컨버터의 스위칭 주파수의 변화로부터 나타나는 현상이므로 향후에 하이브리드 형태의 자동차의 경우에는 내연기관과 전기모터의 상관관계로부터 가속도를 검출하는 방법의 제시를 통하여 가속도와 스위칭 주파수의 관계를 도출하고, 전기자동차 또는 연료전지 자동차 등 순수 전기모터로 구동하는 자동차의 경우 스위칭 주파수의 관계로부터 자동차 검사기준 중 하나인 EMI와 EMC 검사 방법의 활용에도 기여할 것으로 판단된다.

##### (2) HEV용 고전압 케이블에 대한 전류에 따른 발열 특성

AC 모터와 인버터 사이에 사용하는 전선에 50 [A], 100 [A], 150 [A], 200 [A]를 각각 전선에 흘렸을 때의 열화상 이미지 분석 결과, 각각의 최대 온도는 절연체 부분에서 30

[°C], 35 [°C], 46 [°C], 66 [°C]가 측정되었으며, 이것은 열의 축열과 방열의 관계로부터 절연체 부분에서 가장 높은 온도가 나타나는 것으로 분석되었다. 전기적 특성 분석 결과와 비교하면 AC 모터와 인버터 사이의 최대 전류인 200 [A]를 공급했을 때 약 66 [°C]로 나타난 결과로부터 사용 전선의 특성과 실측된 전선의 전류 용량은 차이가 있지만, 온도 특성 분석을 통하여 용량에 따른 전선의 굵기가 비교적 안정적인 것으로 나타났다. 하지만 향후 케이블의 경년 열화와 사용 환경 조건 등에 대한 다각적인 분석이 필요한 것으로 판단된다.

**감사의 글**

본 논문은 한국건설교통기술평가원의 교통체계효율화 사업 중 "하이브리드 자동차의 안전성 평가기술 개발"에 대한 연구결과물임

**참 고 문 헌**

- [1] 한국과학기술정보연구원, "하이브리드자동차 수요전망을 통한 시장기회 분석", 2004. 06.
- [2] 문재원, 안진우, "하이브리드 자동차 구동용 65kW급 SR MOTOR의 설계", 대한전기학회 논문지 54B권 8호, pp358-363, 2005. 08.
- [3] 김호기, "하이브리드 전기자동차의 전기동력기술", 전기의 세계 제 54권 제 5호, pp.26-34, 2005.
- [4] 과학기술정책연구원, "기후변화 협약대응의 이슈와 의제", 2006. 03.
- [5] SAE, "Safety Test Methodology and Accelerated Testing and Vehicle Reliability", Society of Automotive Engineers.
- [6] 이현동, 최종률, "전기, 하이브리드 및 연료전지 자동차의 향후 동향", 전기학회지 제 49권 5호, pp.4-10, 2000.
- [7] 이기연, 김형준, 김동욱, 김항곤, 최종석, "하이브리드 자동차의 전기적 특성 분석에 관한 연구", 대한전기학회 전기설비전문위원회 춘계학술대회논문집, pp.140-145, 2008.
- [8] 기아자동차, "프라이드 정비 지침서", 2006.
- [9] <http://www.hitachi-cable.co.jp/en/products/vehicle/eco/harness.html>

**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 재해예방연구그룹 연구원.  
Tel : 031-580-3039  
Fax : 031-580-3045  
E-mail : lkycj@kesco.or.kr



**김 동 우 (金 東 佑)**

1972년 3월 20일생. 1996년 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년~현재 전기안전연구원 재해예방연구그룹 연구원.  
Tel : 031-580-3036  
Fax : 031-580-3045  
E-mail : klove@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 재해예방연구그룹 연구원  
Tel : 031-580-3035  
Fax : 031-580-3045  
E-mail : dokim@kesco.or.kr



**길 형 준 (吉 亨 准)**

1969년 8월 5일생. 1997년 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2006년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2000년~현재 전기안전연구원 전기개해연구그룹 과장  
Tel : 031-580-3034  
Fax : 031-580-3045  
E-mail : fa523@paran.com



**김 항 곤 (金 珮 坤)**

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



**최 충 석 (崔 忠 錫)**

1961년 9월 19일생. 1991년 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1993년 나고야대학 초청연구원. 1994~95년 구마모토대학 객원연구원. 1997년~2008년 전기안전연구원 재해예방연구그룹 그룹장. 2008년~현재 전주대학교 소방안전공학과 교수  
Tel : 063-220-3119  
E-mail : enetek@naver.com