

전기/하이브리드 차량의 EMC 분석 및 규격 동향

박 재 현

(주) 아이스팩 기술연구소

I. 서 론

배터리에 축적된 전기로 모터를 회전시켜 동력을 발생시키는 전기 자동차는 배터리의 중량, 충전에 소요되는 시간 및 짧은 수명 등의 문제로 상용화에 제한이 있었으나, 배터리의 성능 향상, 모터 제어 기술의 발달, 내연 기관을 사용한 자동차의 공해 문제 및 화석 연료 고갈 등의 이유로 최근 들어 다양한 방식의 전기 자동차가 개발되고 있다. 아직까지 짧은 주행거리 및 배터리 충전 인프라 미비 등으로 완전한 형태의 전기 자동차 상용화에는 어려움이 있으나, 엔진과 모터를 병행하여 차량을 구동시켜 이러한 단점을 보완하는 하이브리드 차량과 제한적이지만 근거리용 전기 자동차는 이미 상용화에 성공하여 엔진 구동 장치 자동차를 대체하고 있다. 또한 수소 연료 전지 차량 및 도로에 전원 공급 장치를 갖춘 ON- LINE 자동차 등이 개발되고 있으며 머지않아 이러한 다양한 형식의 전기 자동차가 상용화 될 것으로 예상된다. 이러한 전기 자동차는 엔진을 대체하는 강력한 전기 모터를 동력원으로 사용하며, 시스템을 작동시키기 위한 제어 장치와 모터 구동 장치 및 구동 모터에서 발생하는 EMC 문제는 엔진 구동 장치의 자동차에서 발생하는 EMC 문제보다 다양한 형태의 EMC 문제를 발생시킨다. 따라서 일반적인 전기/하이브리드 차량에서 발생하는 EMC 문제에 대해 예측하고, 이에 대한 기본적인 대책 방법에 대해 살펴보고자 하며, 또한 엔진 구동 장치 자동차에 적용하였던 EMC 규격과 비교하여 전기 자동차에 적용할 수 있는 EMC 규격에 대해 기술해 보고자 한다.

II. 전기/하이브리드 자동차 구성 및 EMC 예측

2-1 전기/하이브리드 자동차 전원 시스템 특징

전기 자동차는 엔진을 대체하는 주 동력원으로 대용량 전기 모터를 사용하며, 이러한 대용량 모터를 채용함에 따라 시스템의 크기와 무게를 줄이기 위해 DC 72 V~DC 600 V의 고전압 시스템을 사용한다. 실제로 최근 국내에 시판이 허용된 저속 전기 자동차의 경우 72 V의 전원을 사용하며, 하이브리드 차량의 경우는 <표 1>과 같이 MAIN 전원으로 DC 180 V 이상의 전원을 사용한다. 그리고 일반 차량에서 사용하는 전장품을 사용하기 위해 보조 전원으로 고전압을 DC 12 V의 전압으로 변환시켜 사용한다. 전원 배터리는 니켈-수소 또는 리튬 이온 계통의 배터리를 주로 사용하며 배터리의 전원 상태를 조절하는 BMS(Battery Management System)이 장착되어 있다. 저속 전기 자동차의 경우는 가격적인 부담 때문에 납 축전지를 사용하며 리튬 이온 배터리는 옵션으로 채용하고 있다. 또한 현재 세계 여러 나라에서 활발히 개발 중인 수소 연료 전지 차량의 경우는 친환경 고효율 시스템으로써 향후 전기 자동차의 주요 방식으로 채용될 것으로 예상되며, DC 480 V~DC 960 V 전원을 사용하고 있다.

2-2 전기/하이브리드 차량의 전원 구성도

동력원을 모터로만 사용하는 전기 자동차는 배터리의 성능에 따라 주행거리가 많이 제한되므로 이러한 단점을 보완하기 위해서 엔진과 모터를 병행하여 동력원을 얻는 하이브리드 차량은 전기 자동차에 비

<표 1> 국내 시판 중인 전기/하이브리드 차량 전원 사양

구분	프리우스 하이브리드	캠리 하이브리드	아반테 하이브리드	CT&T e-ZONE
Battery type	Nickel-Metal Hydride (NiMH)	Nickel-Metal Hydride (NiMH)	Rithium-Polymer	납축 전지 (Rithium-Polymer 옵션)
Main 전압	273.6 V (228×1.2 V cells)	244.8 V (204×1.2 V cells)	180 V(5.4AH) (150×1.2 V cells)	72 V
모터 용량	61 kW	105 kW	15 kW	7 kW
보조전원	12V	12 V	12 V	12 V

해서 좀더 복잡한 구조를 가지고 있다. 따라서 본고에서는 하이브리드 차량에 대한 구조 및 노이즈 분석을 통해 전기 자동차의 EMC 특성에 대해 설명하고자 한다. [그림 1]은 현재 시판 중인 하이브리드 차량의 구성도이다.

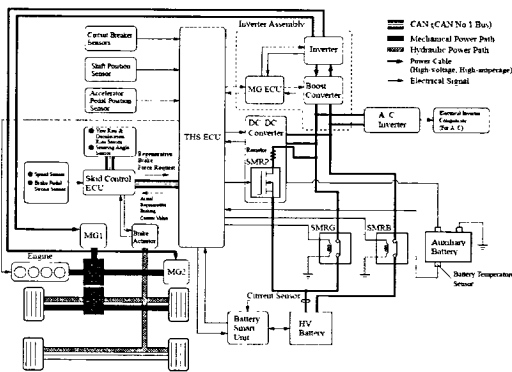
하이브리드 차량의 주요 구성품으로는 고압 배터리(HV battery)와 고압 배터리의 전원을 제어하는 BMS (Battery Management System), 고압 배터리로부터 전압을 증폭시키는 Booster converter와 Booster converter에서 발생시킨 고압을 받아서 PWM 제어를 통해 메인 모터(MG1)를 구동시키는 인버터, 그리고 메인 모터, 엔진을 시동하고 고압을 발생시켜 고압 배터리를 충전하는 보조 모터(MG2), 일반 전장품 사용을 위해 고압을 12 V 전압으로 변환시키는 DC-DC converter, 에어컨을 동작시키는 A/C inverter와 이 모든 시스템

을 제어하는 Main ECU 등으로 구성된다.

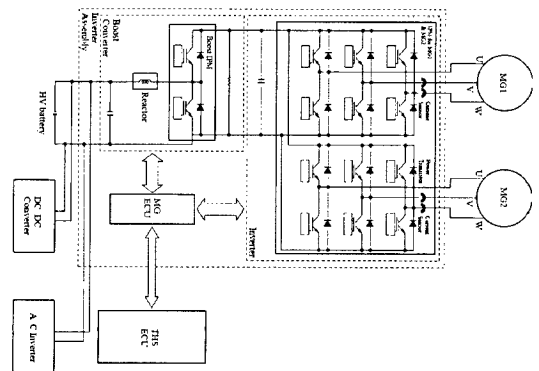
2-3 전기/하이브리드 차량의 주요 EMC 노이즈원 및 분석

하이브리드 차량의 고압 구동부에서 발생하는 EMC 노이즈는 다음과 같다.

- 고압 배터리 전원을 증폭하기 위한 Boost 회로의 IGBT 또는 FET가 on-off시 발생하는 스위칭 노이즈
- 모터를 구동하기 위해 동작하는 인버터 회로의 IGBT 또는 FET가 on-off시 발생하는 스위칭 노이즈
- 보조 전원(DC 12 V)을 공급하기 위한 DC-DC converter의 스위칭 노이즈
- 인버터를 제어하기 위한 제어기 전원의 스위칭 노이즈 및 CPU clock noise



[그림 1] 하이브리드 차량의 전원 계통도



[그림 2] 하이브리드 차량 주요 노이즈 발생 부품

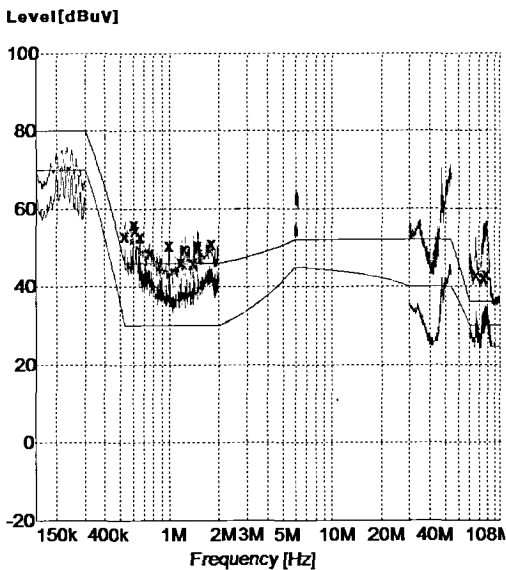
-시스템 내부에서 사용하는 통신회로에서 발생하는 노이즈

-고압 배터리 전원 제어를 위한 회로(BMS: Battery Management System)에서 발생하는 노이즈

-에어컨을 동작시키기 위한 인버터 노이즈

[그림 3]의 data는 하이브리드 차량 모터를 단품으로 약 500 rpm 구동 상태에서 CISPR 25 규격에 의거 측정된 data이다. 노이즈 분석 결과, 1 MHz 이하 저주파 대역에서 약 15 kHz 간격으로 노이즈가 발생하는 것을 볼 수 있으며, 이는 모터 구동을 위해 PWM 제어를 하는 인버터 내의 IGBT가 on-off시 발생하는 스위칭 노이즈로서 인버터가 약 15 kHz PWM 주파수로 모터를 제어한다는 것을 알 수 있다. 30 MHz 이상 대역에서는 BMS 및 CAN 통신 제어 회로의 작동 노이즈 및 clock 노이즈가 발생하는 것을 확인할 수 있다.

[그림 4]는 하이브리드 차량에서 일반 전장품을 사용하기 위하여 고전압을 DC 12 V 변환시키는 DC-DC converter 동작 상태에서 CISPR 25의 규격에 의거 측정된 data이다. 노이즈 분석 결과, 약 100 kHz switching



[그림 3] 하이브리드 인버터 전도 노이즈 측정 data

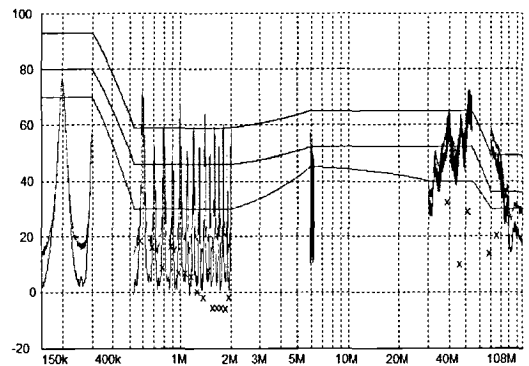
노이즈가 측정 주파수 전체 대역에서 발생하는 것을 볼 수 있으며, 30 MHz 이상 대역에서는 통신 및 제어 회로 작동 노이즈가 발생하는 것을 확인할 수 있다.

이밖에 에어컨 시스템의 경우는 엔진 구동 차량에서는 엔진의 동력을 이용하여 에어컨 압축기를 동작시켰으나, 하이브리드 차량에서는 압축기를 PWM 제어 방식의 에어컨 인버터를 사용하여 동작시키므로 수십 kHz의 PWM 노이즈 및 고조파 성분의 노이즈가 발생할 것으로 예상된다.

III. 하이브리드차량 일반적인 EMC 대책 방법

하이브리드 차량의 일반적인 EMC 대책 방법은 다음과 같다.

- 인버터 및 제어 시스템의 회로 최적화(IGBT 전 원단에 스너버 회로 추가 등)
- 인버터 고전압 입력단에 주파수 특성이 좋은 대용량, 고전압 MF 콘덴서 추가 → 전해 콘덴서는 리플 전압에 대한 내구성 저하로 사용 불가
- 인버터 내 고압 전원과 저압 전원 시스템 최대한 분리
- 고압 케이블 및 커넥터 쉴드
- 인버터와 모터간 케이블 쉴드

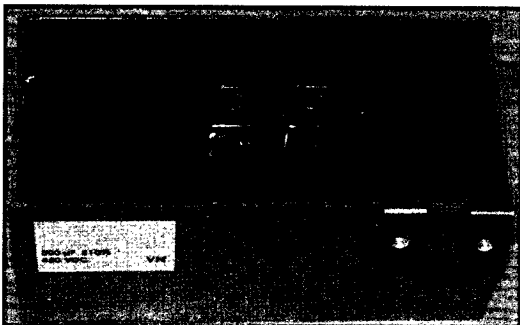


[그림 4] 하이브리드 차량 DC-DC converter 전도 노이즈 측정 data

- 인버터 금속 케이스 실드

전기/하이브리드 차량의 EMC 문제를 해결하기 위해서는 기본적으로 인버터 및 제어 시스템에서 고압/저압 전원의 분리 및 회로의 최적화는 기본적으로 선행되어야 한다. 이외에 고압 전원 입력단에 인버터의 스위칭 리플을 줄이기 위해 대용량 콘덴서의 추가가 필수적이다. 고압 전원 입력단에 사용하는 콘덴서는 주파수 특성이 우수하고 내온도성, 내구성이 좋은 콘덴서를 사용해야 하는데, 보통 메탈 필름 계열의 콘덴서를 사용한다. 일반적으로 쉽게 구할 수 있는 전해 콘덴서는 리플 내구 수명이 짧고 내구 수명이 경과하면 소손될 우려가 있어 사용하지 못한다. [그림 5]는 DC 450 V 500 uF의 용량을 가진 메탈 폴리프로필렌 콘덴서이다.

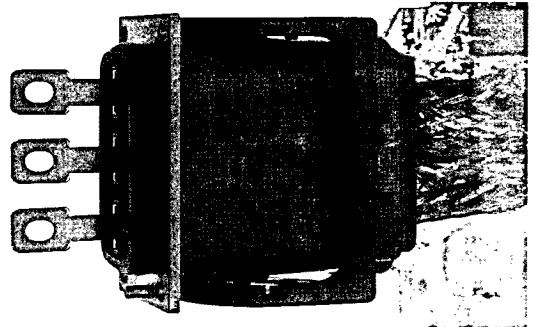
전원 입력단에 장착한 콘덴서만으로는 인버터 또는 DC-DC converter 내부에서 발생하는 노이즈가 고압 입력 전원선을 통해 방사되는 노이즈를 일정 수준 이하로 줄이는 것은 한계가 있다. 따라서 고압 전원 케이블과 커넥터는 차폐된 제품을 사용해야 한다. 또한 인버터에서 모터에 전력을 공급하는 케이블로도 IGBT(FET) 스위칭 노이즈 성분이 다량 방사되므로 이들 노이즈를 감쇄시키기 위해 인버터와 모터 사이에 노이즈 저감을 위해 수동 소자를 사용하여 필터 회로를 구성할 수도 있으나, 이럴 경우 임피던스가 변



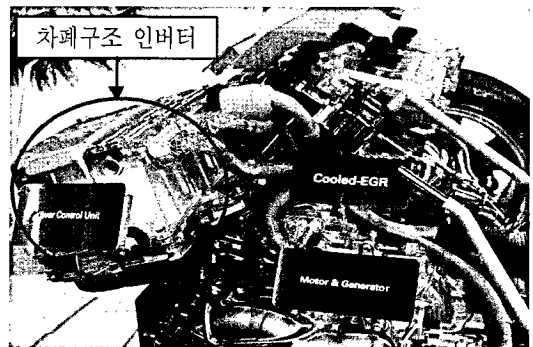
[그림 5] 대용량 고압 MF 콘덴서(DC 450 V, 500 uF)

화하여 모터의 출력 등의 성능에 악영향을 줄 수가 있어 필터 회로를 사용해서는 안되며, 인버터와 모터를 연결하는 케이블을 차폐 구조로 설계하여야 한다. [그림 6]과 같은 하이브리드 차량용 고압 차폐 케이블 및 차폐 커넥터는 국내 하네스 제조업체에서도 개발하여 생산 중에 있다.

인버터 내부의 IGBT(FET)는 모터를 동작시키기 위해 고압 전원을 on-off 스위칭함으로써 노이즈를 발생시키는데, DC 180 V의 전원 스위칭 시 전자파 노이즈가 발생하면 엔진 구동 차량의 전원인 DC 12 V로 스위칭하는 노이즈에 비해 전계 노이즈의 양은 약 23.5 dB 증가한다. 따라서 고압으로 동작시키는 인버터의 방사 노이즈를 절감시키기 위해서는 [그림 7]과 같



[그림 6] 전기/하이브리드 차량용 대용량 고압 실드 케이블 및 커넥터



[그림 7] 차폐된 하이브리드 차량 인버터 및 연결 케이블 적용

이 인버터를 차폐 구조로 제작하는 것이 EMC 문제를 감소시키는데 유리하다. 실제로 시판되는 대부분의 국내의 하이브리드 차량은 금속 차폐 구조의 인버터 및 차폐 구조의 고압 연결 케이블/커넥터를 사용하고 있다.

IV. 하이브리드 차량 EMC 규격 검토

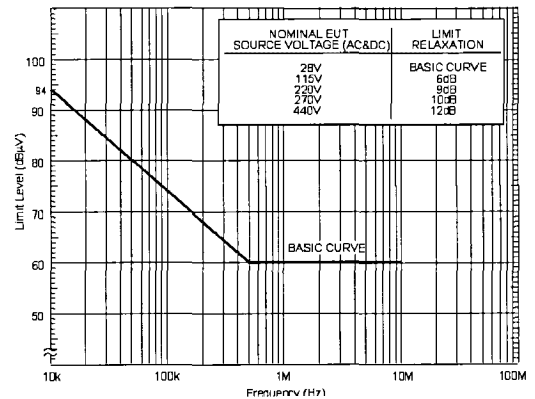
4-1 하이브리드 차량과 엔진 구동 차량의 EMC 규격 비교

하이브리드 차량에 대한 국제 규격은 미정이며, 각 제작사별로 전원 사양 등 시스템이 상이하여 통합 규격 제정에 어려움이 있다. 각국 하이브리드 차량 제작사에서는 각 사의 실정에 맞게 EMC 규격을 제정하여 사용하고 있는 것으로 알려져 있으나, 기술 유출 등의 문제로 공개를 꺼리고 있다. 하이브리드 차량의 기술 선도 회사인 도요다의 경우 협력 회사에도 EMC 규격을 공개하지 않는 등 극도의 보안을 유지하고 있다. 국내에서도 하이브리드 차량에 대한 별도의 규격 제정을 위한 논의가 진행되고 있으며, 현재 적용하고 있는 엔진 구동 차량의 EMC 규격을 검토하여 하이브리드 차량에 적용하기 위해 보완할 부분을 제

시하고자 한다.

4-2 전도방사(부품)

전도 방사(Conducted Emission) 시험은 EUT가 동작될 때 전원선을 통해 방사되는 노이즈를 측정하는 항목으로써 전압에 측정되는 기준점이 달라지므로 하이브리드 차량인 경우에는 메인 전원과 보조 전원의 입력 전압에 따라 규제치의 차등 적용이 필요하다. 실제로 [그림 8]과 같이 국방 전도 방사 규격인 MIL-STD-461E CE102 규격의 경우는 입력 전압 레벨에 따라



[그림 8] MIL-STD-461E CE102 규제치

<표 2> 엔진 구동 차량 EMC 규격과 하이브리드 차량 적용 검토

구분	엔진 구동 차량 EMC 적용 규격	하이브리드 차량 적용 검토
Conducted emission	CISPR 25	전압에 따른 규제치 변화 필요
Radiated emission(부품)	CISPR 25	- 규제치 변동 없이 사용 가능 - 시험 set-up은 보완 필요
Radiated emission(차량)	CISPR 12	- 규제치 변동 없이 사용 가능 - 30 MHz 및 1 GHz 이상 대역 규제 필요 - 시험 set-up 변경 필요
BCI(Bulk Current Injection)	ISO 11452-4	규제치 변동 없이 사용 가능
Electrostatic discharge	SAE J113/13	규제치 변동 없이 사용 가능
Conducted immunity in audio frequency	ISO 11452-10	전압에 따른 인가 레벨 조정 필요
Radiated immunity	2004-104 EC	- 규제치 변동 없이 사용 가능 - 시험 set-up 변경 필요

규제치를 달리 한다.

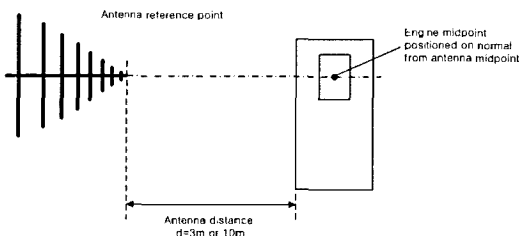
4-3 복사 방사(부품)

복사 방사 노이즈는 EUT가 동작될 때 EUT 및 EUT에 연결된 하네스에서 방사되는 노이즈를 측정하는 항목으로써 규제치 변경 없이 적용이 가능하나, 고압 전원과 보조 전원을 공급해야 하는 시험 set-up은 lay-out 변경 및 검토가 필요하다.

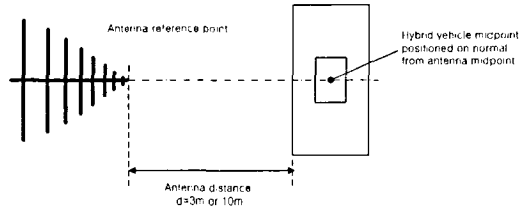
4-4 복사 방사(실차)

실차 복사 방사 시험의 경우는 차량이 동작할 때 차량에서 발생하는 노이즈를 측정하는 항목으로써 엔진 구동 차량의 경우는 CISPR 12 규격에 의하면 1,500 rpm으로 구동 상태에서 노이즈가 가장 많이 발생하는 차량 측면 엔진 중심에서 3 m 또는 10 m 거리에서 측정하게 되어 있으나, 하이브리드 차량의 경우는 엔진을 일정 rpm으로 구동이 불가하여, 모터 동작과 엔진 구동 상태에서 각각 측정되어야 한다. 전기 자동차의 경우는 일정 주행 속도에서 측정을 하며 국내 자동차 안전 기준에는 40 km/h 동작 상태에서 측정하게 되어 있다.

측정 위치는 그림과 같이 엔진 구동 차량의 경우는 차량 측면 엔진의 중심에 안테나를 위치하여 측정하게 되어 있으나, 하이브리드 차량이나 전기 자동차의 경우는 차량 전체에 노이즈 소스가 고르게 분포되어 있어 차량의 중심에서 측정해야 한다.



[그림 9] CISPR 12 엔진 구동 차량 복사 방사 측정 Set-up



[그림 10] 전기/하이브리드 차량 측정 set-up

4-5 BCI(Bulk Current Injection)

시험 대상 장비의 신호선에 전류 프로브를 통하여 전자파를 인가하여 이상 작동 유무를 평가하는 시험 항목으로써 규제치 변동 없이 전기/하이브리드 차량에 적용할 수 있다.

4-6 ElectroMagnetic Discharge(정전기)

시험 대상 장비에 수~수십 kV의 정전기를 인가하여 장비의 이상 작동 유무를 평가하는 시험 항목으로서 규제치 변동 없이 전기/하이브리드 차량에 적용할 수 있다.

4-7 Conducted Immunity in Audio Frequency(가청 주파수 전도내성)

엔진 RPM의 변화에 따라 가변하는 차량 발전기에서 발생하는 Audio Frequency 대역(30 hHz~100 kHz)의 리플 노이즈를 전원선에 인가하여 시험 대상 장비의 오작동 여부를 평가하는 항목으로써 전기/하이브리드 차량의 경우, 인가 주파수 대역을 모터 구동을 위한 인버터의 스위칭 주파수로 변경이 필요하다. 또한 입력 전압 전압 레벨에 따라 인가 전압 규제치를 달리할 필요가 있다.

4-8 복사 내성 시험

차량에 AM 및 pulse 변조된 전자파를 인가하여 차량의 이상 발생 여부를 평가하는 항목으로써 엔진 구동 차량의 경우는 50 km/h 구동 상태에서 측정하나,

하이브리드 차량의 경우, 모터와 엔진을 동시에 동작시켜 정속 주행 모드를 만들기가 불가능하므로 모터 동작 모드와 엔진 구동 모드로 각각 시험 진행이 필요하다.

V. 결 론

수년간 하이브리드 차량 및 연료 전기 차량의 시스템에 대해 EMC 문제를 실제로 해결한 경험을 바탕으로 하이브리드 차량에 대한 EMC 노이즈 소스 분석 및 대책 안을 간단하게나마 제시하였다. 전기/하이브리드 차량은 엔진 구동 차량에 비해 훨씬 다양한 전기/전자 장치를 채용함으로써 많은 EMC 문제를 발생시킨다. 이러한 복잡한 EMC 문제를 해결하기 위해서는 설계 초기 단계부터 부품 선정, 배치, 전원 분리, 회로 최적화, 필터링, 차폐 등 EMC를 고려한 설계가 필요하다.

현재 시판되는 하이브리드 차량이나 근거리 저속 자동차의 경우 차종별로 각각 다른 전원 시스템을 채용하고 있다. 따라서 거의 유사한 배터리와 전원 시스템을 사용하는 엔진 구동 차량에서와 같이 일률적인 EMC 시험 방법과 평가 기준을 적용하기에는 무리가

따를 수도 있다. CISPR나 ISO에서도 엔진 구동 차량의 EMC 규격과 별개로 하이브리드 차량이나 전기 자동차에 대한 EMC 규격 제정 대한 논의가 활발히 이루어지고 있으며, 국내에서도 이러한 국제 회의에 적극 참여하여 능동적으로 대처하여야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] Michel Mardiguian "EMI Troubleshooting Techniques".
- [2] 신재근, 최재훈, "미래형자동차 전자파적합성 최신기술동향", 전자공학회지, 2007년 5월.
- [3] CISPR 12 Ed. 6 Vehicles, boats and internat combustion engines - Radio disturbance characteristics - Limits and methods of measurement for the protection of off-board receivers.
- [4] CISPR 25, "Vehicles, boats and internal combustion engines - Radio disturbance characteristics - Limits and methods of measurement for the protection of on-board receivers".
- [5] 2007 Camry Hybrid Vehicle Service Manual.

≡ 필자소개 ≡

박 재 현



1991년 2월: 전북대학교 전자공학과 (공학사)

1990년 12월~2003년 10월: 기아자동차 기술연구소 근무

2003년 10월~현재: (주) 아이스팩 기술연구소장

2008년 10월: iNARTE EMC ENGINEER

자격 취득

[주 관심분야] EMI/EMC 대책기술, EMP 대책 기술