한국군사과학기술학회지 제15권 제4호, pp. 366~373, 2012년 8월

학술논문 지상무기 부문

고전력 하이브리드 추진시스템의 전자파 적합성 설계 대책

Design of the Electro-magnetic Compatibility(EMC) for Hybrid Electric Propulsion System

임 종 광* **장 교 근***
Jongkwang Lim Kyogun Chang

Abstract

In this paper, serious changes in the electromagnetic environment with increasing power and energy capabilities for electric driving and military mission are discussed. Design and control strategies on the Electro-Magnetic Compatibility(EMC) for the series hybrid electric vehicle are proposed to minimize the effects of electromagnetic interferences.

Keywords : Electromagnetic Compatibility(전자파 적합성), Series Hybrid Electric Vehicle(하이브리드 전기 차량), Hybrid Electric Propulsion System Control(하이브리드 전기추진 시스템 제어)

1. 서 론

하이브리드 차량은 내연기관에 고전력 전동기 구동 장치를 추가시킨 전기 추진시스템을 적용하여 기동성이 우수하고 연비를 증대시키는 장점이 있다. 그런데 전기 추진시스템은 기존 차량에 비해 수십 배 이상의 고전력을 소비하고 고주파수 전자기장을 차량 내외부에 형성시키기 때문에 탑재 장치의 오작동이나 성능 저하, 운행간 안전과 탑승자에 영향을 미칠 수 있는 전자파 영향을 최소화하기 위한 설계 및 통제 대책이 필요하다. 국외의 경우, 하이브리드 차량에 대한 전자파 규격이나 표준화된 전자파 대책은 아직 제시되지 않고 있으며 단지 부분적인 대책만 제안되고 있는 상황이다[1~4]. 국내의 경우도 마찬가지로 고전력 하이브리드 차량에 대한 전자파 환경과 관련된 정보가 공개된 바 없는 상황이다.

본 논문에서는 하이브리드 차량에 대한 표준화된 전자파 규격이나 설계지침이 개발되지 않은 상황에서 민군 하이브리드 차량의 개발시 고전력 전자파 환경에서도 안전하고 정상적인 작동을 유지시키기 위한 전자파 적합성 설계 전략을 제안하였다. 먼저 하이브리드 차량에서 전자파 환경의 변화를 유발시키는 전기장치들을 분석하여 설계요소를 도출하였고, 기존의 민수 및 군용 전자파 규격을 비교하고, 민군 하이브리드 차량에 대한 전자파 규격 적용 방안을 검토하였다. 그리고 개발 중인 민군 하이브리드 차량에 적용하기 위한 체계 전자파 설계 및 통제 전략을 제시하였다.

† 2012년 3월 30일 접수~2012년 7월 13일 게재승인
* 국방과학연구소(ADD)
책임저자 : 임종광(jklim33@add.re.kr)

2. 하이브리드 차량의 전자파 환경

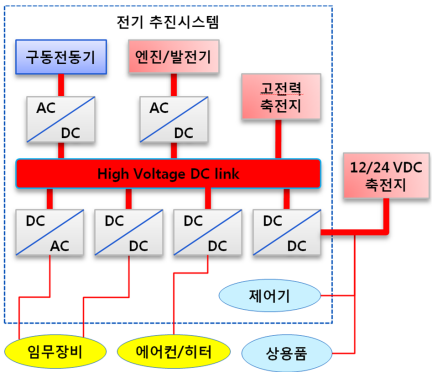
하이브리드 차량의 전기계통은 기존 차량에 공용되는 12/24 VDC 전기장치와 신규로 추가된 고전력 전기 추진시스템으로 구성된다. 고전력 전기추진시스템을 차량에 장착하면서 발생될 수 있는 차량 내외부의 전자파 환경의 변화와 그 변화의 요인이 되는 전기장치들을 고찰하고, 현재 민군 하이브리드 차량에 대한 전자파 대책시 고려해야 할 설계요소를 도출하였다.

가. 하이브리드 차량 내부의 전자파 환경

1) 전기 추진시스템

전기 추진시스템은 Fig. 1과 같이 고전력 축전지, 고전력 전력변환장치(DC/DC, DC/AC), 전류 및 후류 고전력 구동전동기와 전력변환장치들을 위한 제어기로 구성되어 있다. 전력변환장치는 차량에 탑재되는 임무장비, 에어콘과 히터 등 부하전력을 공급하고 12/24 VDC용 축전지를 충전하거나 상용 전기장치(상용품)에 대한 전력을 공급한다.

(a) 차량의 외형



DC/AC: Alternating current to direct current inverter
DC/DC: Direct current to direct current converter
적색선은 (+) 전원을 표시

(b) 전력계통

Fig. 1. Hybrid vehicle and its power system

전기 추진시스템의 구성품 가운데 특히 구동전동기와 이를 제어하는 전동기제어기는 수십에서 수백 kW의 전력을 소비하므로 하이브리드 차량 내에서 가장 큰 전자기 잡음원으로써 차량 내외부의 전자파 환경을 좌우하는 장치이다. 구동전동기는 알루미늄 재질의 하우징 자체로 전자파 차폐가 양호하다. 그러나 고주파수 대역에서는 전동기 등 각종 전기장치와 차체의 스틸 프레임 사이의 기생 커패시턴스가 전자기 간섭의 경로가 될 수 있으며[5], 전력변환장치에 내장된 고전력 스위칭 소자 IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)가 전자파 잡음을 유발하는 부품이다[1]. 또한 전기장치에 내장된 회로의 전원선과 차체 프레임 사이의 커패시터 때문에 전도성 공통모드 누설전류의 경로가 형성되는 원천적인 문제점도 가지고 있다. 따라서 전동기와 전동기제어기 주위의 전기장치 전원과 신호의 전류복귀선과 차체 접지 사이에 전류경로의 형성을 최소화시키는 것이 주요 설계 요소이다.

2) 상용품

상용품은 민수용으로 기개발되어 민군 하이브리드 차량에도 공용 가능한 연료펌프, 에어컨, 히터, 각종 램프류 등 차량운용에 필수불가결한 전기장치를 말한다. 그런데 모든 상용 전기장치는 차체 프레임을 전기회로의 전류복귀경로이자 접지로 사용토록 설계되어 있기 때문에 전도성 공통모드 잡음에 취약한 상황이다. 이와 같은 접지방식에 의하여 전압안정이 필요한 각종 제어기들은 접지경로를 통하여 전압변동이나 고주파수 대역에서의 전자기간섭 영향을 받을 수 있는 전류경로를 형성하게 한다. 따라서 상용품에 대한 전자파 설계 요소는 전류복귀 경로가 차체 프레임을 통하지 않도록 설계하는 것이 중요하다. 그러나 이를 방지하기 위하여 상용품에 대한 접지 설계변경이 필요하고 결국 재설계에 따른 비용 증가 요인이 되므로 상용품을 하이브리드 차량에 적용 시에는 차량의 전자파 환경에서 상용품의 정상작동 여부를 판단하여 전자파 대책 수준을 결정하는 것이 합리적이다.

3) 임무장비

임무장비는 하이브리드 차량에 선택적으로 탑재되는 장치로써 통신장치, 외부 부하용 전력공급장치가 있으며, 이 장치들의 작동에 의하여 차량 내부의 다른 전기장치에 영향을 줄 수 있다. 이 장치들의 사용주파수를 식별하고 이 주파수 대역에서 운용시 차량 내부

의 다른 장비의 작동이나 외부로부터 인가되는 전자파에 의해 작동에 문제가 발생되는지 여부를 판단해야 한다.

나. 하이브리드 차량 외부의 전자파 환경

하이브리드 차량이 기존 24V 차량 대비 수 십배 이상의 고전력을 사용한다는 점을 고려하면 차량 외부로 방사되는 전자파 크기도 증가될 것이다. 차량 외부의 전자파 환경은 전기 추진시스템의 작동간 다른 차량과 그 탑재 임무장비 또는 차량 주변의 운용장비 등의 정상 작동과 인체에 미치는 영향을 판단해야 하는데, 하이브리드 차량에서 방사되는 복사방사량을 측정하면 차량 외부의 장비에 미치는 영향을 판단할 수 있다. 또한 외부로부터의 전자기 펄스, 낙뢰, 정전용량 등으로부터 발생되는 서지전류나 인가 전계의 영향하에서도 차량의 정상 작동 여부를 확인하여야 하지만, 외부의 인가 전자기 영향은 고전력 전기 추진시스템 적용에 의해 큰 변화는 없을 것으로 판단한다.

3. 하이브리드 차량의 전자파 대책설계 전략

하이브리드 차량의 전자파 환경을 고려한 전자파 규격이나 전자파 대책 설계지침이 국내외적으로 현재까지 표준화되지 않은 상황에서 민군 하이브리드 차량에 대한 전자파 대책설계 전략을 제시하였다. 여기서는 군용 전자파 규격과 민수 전자파 규격을 비교하고 민군 하이브리드 차량 설계를 위한 전자파 규격적용 방안을 제시하고, 이를 근거로 체계 EMC 및 단품 EMI 대책설계 방안을 제시하였다.

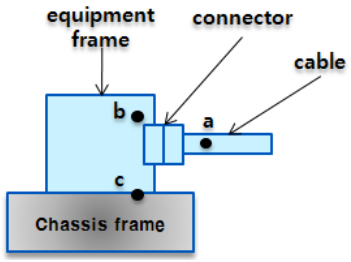
가. 하이브리드 차량의 전자파 규격 적용방안

1) 군용 규격

군용 체계에 대한 EMC 규격은 MIL-STD-464[6]를 적용하며, 개발 전 과정에서 선정된 요구사항을 만족시키도록 지속적인 통제를 요구하고 있고, 지상 차량에 대한 요구사항은 다음과 같이 선별하여 적용할 수 있다.

(1) 안전과 관련된 장치와 핵심임무 장치는 6dB 이상의 안전 여유치(Safety Margin)를 확보
(2) 차량 내부 장치간 전자기 간섭 환경에서 정상운용(체계 간 전자기 적합성)
(3) 차량 간 전자기 간섭 환경에서 정상운용(체계 간 전자기 적합성)
(4) 전류복귀경로, 안테나 설치, 기구결합 상태에 영향을 받는 접속(Bonding) 요구사항을 준수(Fig. 2)
(5) 부체계와 단품 전기장치는 전자기 간섭요구사항인 MIL-STD-461[7] 준수

이외에도 전자기펄스, 낙뢰, 정전기 충전 통제, 인체에 대한 전자기 복사 위해성 등은 운용환경을 고려하여 선택적으로 적용할 요구사항들이다.



케이블 차폐부과 장비 프레임 15mΩ 이하 (a와 c사이)
장비 프레임과 차체 프레임 10mΩ 이하 (b와 c사이)
부품 등 개별 접합부 2.5mΩ 이하로 유지 (c)

Fig. 2. Requirements of bonding resistance

2) 민수 규격

하이브리드 차량에 대한 전자파 요구사항을 규제한 국내 규격은 없으며 국토해양부의 자동차 안전기준에 관한 규칙에 전자파 방사기준과 내성기준을 규제하고 있고[8], 상용차 24VDC용 EMC 규격[9]이 완성차 업체에서 규제하고 있다. 상용차의 경우 군용 단품 규격 MIL-STD-461과 유사하게 전도방사, 전원선과 신호선에 대한 전도내성, 복사방사 및 복사내성을 규제하고 있으나 군용 대비 주파수 대역이나 전계의 세기가 차이점이 있는데 차량 특성에 맞춰 규제하였기 때문이다. 국외의 민수 규격은 CISPR-16, 25[10,11]가 있으며, 국내 상용차 전자파 규격의 기본이 되고 있고, MIL-STD-461과는 전계크기, 주파수 대역, 시험조건 등 차이가 있고 규제하는 복사 방사 및 내성 항목은 동일하다. 주파수를 예를 들면 민수에서 규제하는 복사방사의 경우 1GHz, 전도 내성의 경우 최대 2GHz 까지의 주파수 대역에서 전자파 적합성을 확인하지만 군용 지상차량의 경우 특정 초고주파수를 사용하는 레이다 또는 통신장치를 고려 할 때 복사방사 18GHz, 복사내성의 경우 40GHz까지 적합성을 확인해야 한다.

3) 규격 적용 방안

민군 하이브리드 차량의 전자파 대책설계 요구사항은 민수와 군용 규격 가운데 더 악조건을 요구하는 군용 규격을 기본적으로 적용하는 것이 합리적이며, 민군 하이브리드 차량 설계시 전자파 규격은 다음과 같이 적용하였다.

(1) 체계 EMC 규격은 MIL-STD-464를 적용
(2) 부체계 및 단품 EMI 규격은 MIL-STD-461을 적용
(3) 상용품은 차량의 전자파 환경조건에서 정상작동에 이상이 없는 한 설계 변경 없이 적용하고 체계작동에 영향을 미치는 경우에는 전자기 간섭 최소화 대책을 마련하도록 한다. 또한 MIL-STD-464에 따라 개발 전 과정에서 선정된 전자파 대책설계 요구사항이 구현되도록 지속적인 통제를 수행하도록 하였다.

군용과 민수 전자파 규격을 종합하면 민수 규격은 단품과 체계의 구분없이 전도방사, 전도내성, 복사방사, 복사내성을 규제하고 있으며, 군용의 경우는 단품은 MIL-STD-461 규격에서 민수와 마찬가지 요구항목을 규제하고 있다. 또한 군용에서는 체계 EMC 규격으로 MIL-STD-464에서 단품 전자파 규격을 만족시킨 장치들을 체계에 결합시키고 결합된 상태에서 차량 내 및 차량과 차량 사이의 상호간섭 영향과 차량내 탑재장비가 외부 인가 전자파에 대한 내성을 규제하고 있다. 곧 군용 전자파 규격은 단품과 체계 두 가지 계층 구조로 규제하고 있다는 점이 가장 큰 차이점이다.

나. 체계 EMC 대책

1) 안전 여유치(Safety Margin)

하이브리드 차량의 경우 운행에 필요한 발전기, 전동기 구동, 고전력 축전지 등을 작동 제어하는 제어기를 핵심 임무장치로 선정하였고, 관련 통신케이블은 MIL-STD-464에서 권고하는 자체 발생 전자기 노이즈 대비 6dB 이상의 유기 전자파에 환경에서도 정상 작동되도록 설계하여야 한다. 이를 위하여 이들 장치와 연결되는 통신케이블들은 차폐율 60dB 이상이 되도록 이중 차폐선을 적용한다. 또한 차폐선을 통하여 유도전류가 발생되더라도 전기장치의 프레임을 통하여 접지로 흘러가도록 케이블 커넥터와 프레임 및 차체 구조물 사이의 접속을 유지해야 한다. 전기장치 내부 회로에서도 접지를 통하여 회로로 유입되는 전도성 노이즈에 의한 회로의 오작동을 방지하기 위한 바이패스 커패시터의 적용, 주요 통신선에 대한 광소자를 이용한 절연 조치가 필요하다.

2) 체계 내부 전자기 적합성

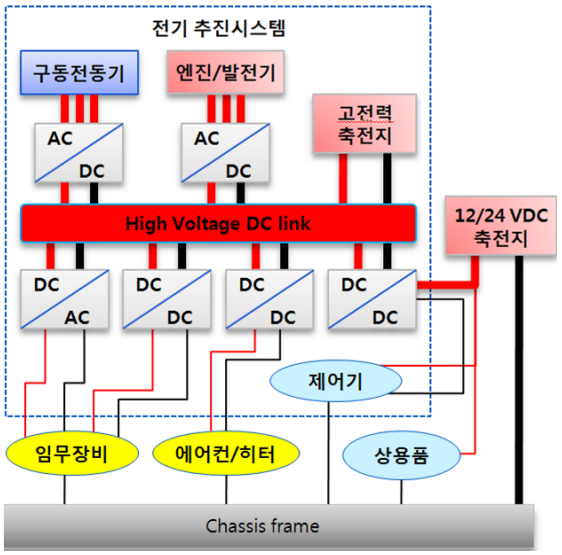
고전력 전원은 12/24VDC 전원과 상호간섭 배제와 고전력에 대한 안전을 위해 전기적으로 절연되어야 한다. 특히 고전력 (-)단자는 차체와 접지시켜서는 안된다. 고전력 전원 케이블이 부득이하게 다른 케이블을 교차하는 경우에는 서로 직교되도록 배치해야 한다. 또한 스위칭 컨버터와 인버터와 릴레이들은 전자기 간섭 발생원이 되므로 고전력 전원, 12/24VDC 전원 통신신호 등 신호선과 전원이 전기적으로 분리되도록 PCB 설계, 하우징 설계, 접지/접속/차폐 설계해야 한다. 체계 내부에 장착되는 부체계와 단품에 대한 EMI 설계는 MIL-STD-461에 따라 그 적합성을 확인해야 한다[7].

3) 체계 간 전자기 적합성

통신수신, 외부에서 인위적인 전자파 인가, 타 차량으로부터 전자기 간섭 등 외부환경에 의한 전자기 간섭에 대한 대책은 전자파 발생요인과 상관없이 전자기 간섭경로를 최소화하고 유기전류를 접지로 바이패스(Bypass) 시킬 수 있도록 접지, 접속, 차폐 설계가 매우 중요하다. 여기서 타 차량으로부터 유기되는 전자기 간섭은 차량 간에 전자파 영향을 미치지 않는 거리로 이격하여 운용되므로 고려대상이 아니다. 통신장치의 수신과 전자파 인가 환경을 고려할 때 차량 내에서 전자파 내성 설계는 결국 접지, 접속, 차폐 설계의 강화로 귀착된다.

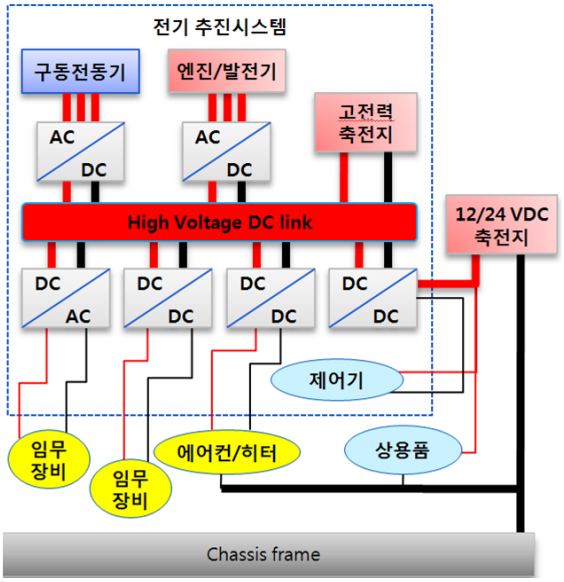
4) 접지 및 접속

민군 하이브리드 차량과 같이 기존의 차량에 사용되는 12/24VDC 전기장치와 신규 개발되는 고전력 전기장치를 사용하는 경우에 차량 내 접지체계를 통일시키는 것이 체계 EMC 대책 가운데 가장 중요한 부분이다. 차량의 12/24VDC 접지는 전원공급단의 (+)단에서 나온 전류는 부하를 거쳐 전원공급단의 (-)단으로의 누설 없이 복귀되도록 전원 복귀선(Return Line)을 적용해야 한다. 그런데 상용품은 Fig. 3과 같이 전원 공급단으로의 전류 복귀선을 적용하지 않고 하우징을 통하여 차체 프레임으로 직접 접지시키는 다중 접지 방식을 채택하고 있다.



적색선은 (+)전원, 흑색선은 (-)전원

Fig. 3. Grounding of commercial vehicle : Return lines of power are not applied



적색선은 (+)전원, 흑색선은 (-)전원

Fig. 4. Grounding of the dual-use vehicle : Return lines of power are applied

전원 복귀선을 적용하지 않는 근본적인 이유는 비용절감과 중량감소이지만 군 적용을 위해서는 신규 개발품은 필히 전원 복귀선을 Fig. 4와 같이 적용하며 차량의 12/24VDC 축전지 (-)단자를 통해 차체 프레임과 접지시켜야 한다.

고전력 전원의 경우는 고전력 (-)전원선은 전기안전을 위하여 차량구조물과는 접촉되지 않도록 고전력 (+)/(-) 선은 외부와 전기적인 절연과 차폐가 동시에 이루어지도록 설계하여야 한다.

전기적 접속은 상기 MIL-STD-464에서 제시된 접속 직류 저항값을 만족하도록(Fig. 2 참조) 부품을 선정하고 모든 전기장치 프레임의 내장 회로들과 케이블 들이 차폐 구조를 이룰 수 있도록 조치를 취해야 한다.

다. 상용품의 EMI 대책

상용품은 12/24VDC 전원 복귀선을 적용하지 않고 차체에 직접 접지시키고 있어 민군 하이브리드 차량의 접지 요구사항과 같이 전원 복귀선을 적용하는 차량에 비해 차체 프레임에서의 누설전류에 의하여 차량의 급가속, 급제동 등 고전력 과도현상에 의한 부하 변동에 의한 정상작동에 영향을 받을 수 있다. 이에 대한 대안으로 어쩔 수 없이 차체 접지해야 하는 상용품의 경우 부하의 순시 또는 연속 작동 여부와 부하의 소요 전력량 등을 고려하여 부하 사이에 상호 영향을 최소화되도록 수 개의 접지 그룹으로 분류하는 것이 중요하다.

따라서 기존 차량에서 잘 사용했던 상용품일지라도 하이브리드 차량에서도 정상작동 여부를 반드시 확인하여야 하며, 정상작동에 문제가 있는 경우에는 전원 복귀선 적용, 전력선과 신호전원의 분리 등 설계변경을 통하여 전자파 성능을 강화해야 한다.

라. 신규 개발품의 EMI 대책

1) 전기 추진 시스템

하이브리드 차량에서 전자파 대책안 가운데 고전력 전력변환장치의 고전력 DC 링크단자에 EMI 필터를 적용하는 대안[12]이 있을 수 있다. 고전력 필터의 투입은 전원 잡음을 통제하기 위한 가장 쉬운 방법이지만 비용과 배치공간의 증가, 성능 등을 고려하여 결정되어야 하며, 현재 고전력 하이브리드 차량의 전자파 환경을 정확히 규정하지 못하고 있는 상황이므로 전원의 잡음 특성 및 분석을 통하여 고전력 변환장치에 적합한 전자파 방안을 강구하여야 한다. 한편 고전력 EMI 필터를 투입하지 않고 고전력 전력변환장치 자체적으로 전자기 잡음을 감소시키기 위해서는 저속

스위칭 방식, 완만한 스위칭 특성을 갖는 스위칭 소자의 개발 등의 설계요소가 있지만[13] 현재까지 국내외적으로 뚜렷한 성과를 찾기는 어려운 상황으로 지속적인 연구가 필요한 분야이다.

2) 프로세서를 내장한 신규 개발품

전기 추진시스템의 핵심 구성품으로써 엔진발전 제어기, 전동기제어기, 고전력 축전지 제어기(BMS : Battery Management System) 등 프로세서를 내장한 장치들은 24VDC 주전원을 받아 12VDC/5VDC 등 전원으로 변환, 디지털 회로와 아날로그 회로 구동용으로 사용하게 된다. 이들 제어기들의 24VDC 전원 입력단에 EMI 필터를 전원 안정화를 위하여 기본적으로 투입해야 한다. 전원 필터 뒷 단에는 24VDC를 12VDC 또는 5VDC로 변환하는 DC-DC 컨버터는 1차단(전원측)은 2차단(부하측)은 절연형을 사용해야 하며, 전압의 크기별로 각각 전원 복귀선을 마련하여 DC-DC 컨버터 2차단으로 전류가 누설없이 복귀되록 하여야 한다. 아날로그 신호와 디지털 신호의 접지도 독립적으로 분리하여 관리하여야 한다.

3) 전기장치 프레임

전기장치의 프레임은 내장 회로를 전기기계적으로 보호하고 내부회로로부터 방사되는 전자기파와 외부로부터 유입되는 전자기파를 차폐하고 회로와 인명의 보호용 전기안전 접지 경로를 제공하여야 한다. 전기장치 프레임의 덮개에 EMI 개스킷을 적용해야 하며, 덮개는 프레임과 접속저항을 2.5mΩ 이하로 유지되도록 적합한 토크로 결합시켜야 한다. 특히 하우징 내부에서 PCB 보드의 전기회로의 전류복귀선이 접지패턴을 통해 볼트 등으로 하우징과 차체에 직접 접지되지 않도록 통제하는 것이 중요하다.

4) 케이블/하네스

24VDC 주전원 케이블은 신호케이블과 독립적으로 제작하도록 하였고 차폐선을 적용하여 제작해야 한다. 이때 차폐선은 케이블 커넥터와 하우징 사이의 전기적 접속저항을 요구값 이내로 유지시켜야 한다. 부득이 주전원, 신호선을 동일 케이블로 제작하는 경우는 선간 크로스 토크(Cross Talk)를 최소화되도록 차폐를 강화해야 한다.

고전력 주전원 케이블은 도선 자체가 굵기 때문에 (+)/(-)단 각각 하나씩 케이블을 차폐선을 적용해서 제작해야 하며, 두 케이블 간 전자기 영향이 미치지 않도록 거리를 유지하여 배치하여야 한다.

고전력 주전원 케이블의 커넥터는 전기안전과 안정된 접속 유지를 위해 민수 하이브리드 차량용으로 국내에도 출시되어 있으나 군용 접속, 차폐로는 미흡한 상황으로 신규 커넥터의 개발이 요구된다.

5) 신호케이블

신호케이블은 주로 센서류, CAN 통신용 케이블이 있으며 송수신 배선을 트위스트 처리하고 이중 차폐를 적용하여야 한다. 내부 차폐선은 커넥터 핀을 통하여 하우징 내부로 끌고 들어오도록 한다. 이 차폐선은 필요에 따라 접지로도 사용할 수 있도록 고려한 것이다. 외부 차폐선은 케이블 커넥터를 통하여 하우징과 전기적 접속을 유지할 수 있도록 하여야 한다.

6) 접지/접속

체계 전원의 접지는 모든 전류 복귀선들이 12/24VDC 축전지의 (-)단자에서 이루어지도록 단일점 접지가 되어야 한다. 그러나 상용품은 전류 복귀선을 적용하지 않아 PCB의 볼트와 하우징을 통해 차체 구조물로 다중 접지되어 있는 구조이다. 하이브리드 차량의 경우, 신규 개발품에 대한 접지, 상용품에 대한 접지 등 혼용 접지방식을 채택 할 필요가 있다. 곧 상용품의 접지방식을 인정하되 신규 개발품은 반드시 전원 복귀선을 사용하여 전원 공급단으로 전류를 복귀시켜야 한다(Fig. 4). 고전력 전원에 대한 접지는 전기안전을 고려하여 적용하지 않으며, 고전력 회로는 외부와 반드시 절연되도록 하여야 하고 전기장치의 하우징은 차량 구조물과 전기적 접속을 유지하여야 하고 전류의 경로가 되지 말아야 한다.

민수 차량의 경우 하우징과 덮개, 커넥터와 하우징, 하우징과 차체 사이에 절연도료 처리가 되어 있거나 심지어 플라스틱 재질로 되어 있어 전자기 잡음의 유출입 경로를 제공하기 때문에 하이브리드 차량의 모든 전기장치는 접속저항 요구값을 만족하도록 추적관리해야 한다(Fig. 2).

전기적 안전과 차폐를 고려하여 차량 내 탑재장비와 인원에 대한 전자기적 영향에 대한 보호를 위해서는 차폐가 필수적이며 Fig. 5와 같이 차량 몸체(Body)로부터 샤시 프레임까지 접지와 접속이 잘 이루어지도록 다중 접지처리를 하여 대지 접지와의 임피던스를 최소화하여야 한다.

7) 공간 배치

고전력 전원분배의 경로는 12/24VDC용 전기장치에 대한 영향이 최소화되도록 배치해야 한다. 또한 고전력 전원공급 경로를 최소화하여 전원선의 인덕턴스가 최소화되도록 고전력 관련 장치들을 전원장비와 근접 배치시키고 차량 좌우측 부하소요를 균등하게 조정하는 것이 중요하다.

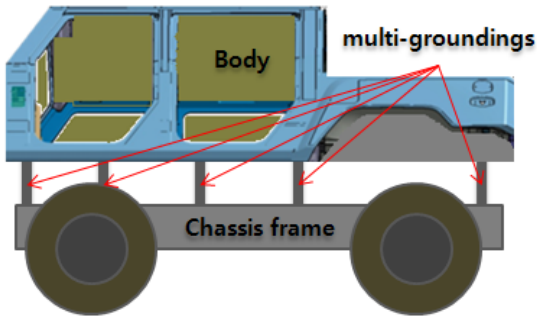


Fig. 5. Multiple groundings for safety and shielding

마. 전자파 통제방안

전자파 대책에서 가장 중요한 것 중 하나는 체계 결합시 발생되는 전자기 간섭 문제를 어떻게 해결할 것인지 여부이다. 하이브리드 차량 개발자와 제작자는 많은 경우 나름대로의 전자파 대책 경험과 노하우를 가지고서 설계, 제작한다. 그런데 단품 EMI 시험을 통과하여도 체계 EMC 시험에 전자파 발생원이 되어 설계변경을 해야 하는 경우가 자주 발생한다. 이와 같은 상황을 최소화시키기 위해서는 하이브리드 차량의 체계 EMC에 대하여 통합적인 설계 및 관리 방안를 통하여 설계, 제작, 시험의 전 순기 동안 지속적으로 조정 및 통제하여야 한다.

1) 중점 관리품목 선정

하이브리드 차량의 운행과 임무수행에 필수적인 장치를 식별하여 집중 관리하도록 해야 한다. 신규 개발되는 프로세서를 내장한 각종 제어기류, 전자파 발생원이 되는 스위칭 소자를 내장한 고전력 전력변환장치 등이 집중 관리품목이 될 것이다. 상용품일지라도 차량의 작동시 영향을 주는 장치는 추가적인 설계 및 보완 조치를 수행하여야 한다.

2) 주기적 점검 및 통제

전자파 환경에 적합한 제품의 개발을 위해서는 각 전기장치들이 체계 EMC 및 단품 EMI 설계 요구사항에 따라 설계, 제작되고 있는지 여부를 PCB 설계도, 전기회로도와 전기장치 프레임 기구 도면을 기준으로 확인하는 것이 중요하다. 도면검토를 통하여 접지/접속, 하우징 설계 방법들을 통일시킬 수 있다. 검토 완료된 품목만을 제작 조치하여야 하며, 제작 중에는 공정간 검사를 수행해야 한다. 전자파 설계지침이 제작 공정서에 반영되었는지 공정서대로 제작되고 있는지 반드시 확인해야 한다. 이 과정을 거쳐야 설계지침대로 제작된 제품이 EMI 시험에 투입되도록 유의해야 한다. 또한 단품 EMI 시험의 진행사항을 파악하고 시험 중에 발생되는 문제와 조치사항을 기록, 유지하는 것이 향후 체계 EMC 시험시 트러블슈팅시 매우 중요하다.

이와 같이 설계에서 시험까지 체계 EMC 통제를 지속적으로 수행하여야 전자파 환경에 안정된 성능을 갖는 하이브리드 차량이 개발될 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 현재까지 고전력 하이브리드 추진시스템에 대한 전자파 규격이 국내외적으로 표준화되지 않은 상황에서 민군 하이브리드 차량에 대한 전자파 대책설계의 일환으로써 고전력 전기 추진시스템이 적용된 하이브리드 차량의 전자파 환경을 변화시키는 전기장치를 분석하였고, 국내외 민군 규격을 비교하고 민군 하이브리드 차량 개발시 적용하기 위한 체계 EMC 요구사항과 대책설계 방안을 제시하였다.

하이브리드 차량의 체계 EMC 통제 관점에서 볼 때, 전자파 환경의 변화에도 불구하고 하이브리드 차량에 대한 전자파 대책 요구사항은 주요 무기체계에 적용했던 방법인 MIL-STD-464를 기준으로 적용하였으며, 체계 EMC 설계 요구사항이 실제 설계, 제작에 반영될 수 있도록 지속적인 조정, 통제가 무엇보다도 중요하다.

하이브리드 차량에 대한 전자파 대책은 전자기 간섭 최소화도 중요하지만 비용 상승에도 영향을 미치므로 일방적으로 전자파 대책을 강화하기는 어려운 상황이므로 체계 성능에 미치는 영향을 고려하여 절충안을 찾아야 한다. 이와 병행하여 단품 EMI 시험, 체계 EMC 시험 자료를 이용하여 고전력 과도특성, 고전력 전원 필터링, 고전력변환장치 상세설계 시부터

고전력 잡음원을 원천적으로 최소화시키는 기술 등에 대한 후속 연구가 진행되어야 한다.

후 기

본 연구는 민군겸용기술사업비 지원으로 수행됨.

References

[1] Qing-yu Wu, Xiao-dong Zhang, and Xi Zhu, “EMC Design for HEV Drive System”, IEEE 2007 International Symposium on Microwave, Antenna, Propagation, and EMC Technologies for Wireless Communications, pp. 1361～1364, 2007.

[2] J. J. Nelson, and M. Aidam, “HEV System EMC Investigation during Transient Operations”, 18th International Zurich Symposium on EMC, pp. 205～208, Munich 2007.

[3] S. Guttowski, S. Weber, E. Hoene, W. John, and H. Reichl, “EMI in Electric Vehicles”, PCIM Conference, Nurnberg, 2003.

[4] Y. H. Lee and A.l Nasiri, “Analysis and Modeling of Conductive EMI Noise of Power Electronics Converters in Electric and Hybrid ELectric Vehicles”, IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition, pp. 1952～1957, 2008.

[5] H. Funato, and L. Shao, “Overview of Component Level EMC Characteristics for HEV application”, IEEE International Symposium on EMC 2008, Aug. 2008.

[6] MIL-STD-464C, Electromagnetic Environmental Effects Requirements for Systems, 2010.

[7] MIL-STD-461, Requirements for the Control of Electromagnetic Interference Characteristics of Subsystem and Equipment. 2007.

[8] 자동차 안전기준에 관한 규칙 : 전자파 적합성 기준(제111조의 2), 국토해양부, 2010.

[9] Electromagnetic Comaptibility Specification(24V), 현대・기아 자동차, ES96202-01, 2009

[10] CISPR-16, Specification for Radio Disturbance and Immunity Measuring Apparatus and Methods, IEC, 2006.

[11] CISPR-25, Vehicles, Boats and Internal Combustion Engines - Radio Disturbance Characteristics - Limits and Methods of Measurement for the Protection of On-Board Receivers, IEC, 2008.

[12] T. Weber, “EMC Filters in High Voltage Traction Drive Systems”, IEEE Electromagnetic Compatibility, pp. 1～6, 2008.

[13] Krishna Mainali, Ramesh Orugant, “Conducted EMI Mitigation Technique for Switch-Mode Power Converters : A Survey”, IEEE Transation on Power Electronics, Vol. 25, No. 9, pp. 2344～2356, Sept. 2010.