

## 수소 연료전지 차량용 고전압 케이블과 일반 케이블에 의한 차량 전자파 방사 특성 수치해석 연구

이순용\*, 서원범\*, 임지선\*\*, 최재훈\*<sup>†</sup>

\*한양대학교 대학원 \*\* (주)유라코퍼레이션

## Numerical Analysis of Electromagnetic Radiation Characteristics by High Voltage and General Cables for Fuel Cell Electric Vehicle (FCEV)

SOONYONG LEE\*, WONBUM SEO\*, JISEON LIM\*\*, JAEHOON CHOI\*<sup>†</sup>

*\*Department of Electronics and Computer Engineering, Hanyang University, 17 Haengdang-dong, Seongdong-gu, Seoul, 133-791, Korea*

*\*\*Yura R&D Center, 686-1, Sampyeong-dong, Bundang-gu, Seongnam-si, Gyeonggi-do, 463-400, Korea*

### ABSTRACT

The electromagnetic characteristics of FCEVs (fuel cell electric vehicles) are much different from the existing combustion engine cars as well as hybrid, plug-in-hybrid, and pure electric vehicles due to the high voltage/current generated by a fuel cell stack which uses a compressed hydrogen gas reacted with oxygen. To operate fuel cell stack efficiently, BOP (Balance of Plant) which is consisted of many motors in water pump, air blower, and hydrogen recycling pump as well as inverters for these motors is essential. Furthermore, there are also electric systems for entertainment, information, and vehicle control such as navigation, broadcasting, vehicle dynamic control systems, and so on. Since these systems are connected by high voltage or general cables, EMC (Electromagnetic compatibility) analysis for high voltage and general cable of FCEV is the most important element to prevent the possible electric functional safety errors. In this paper, electromagnetic fields by high voltage and general cables for FCEVs is studied. From numerical analysis results, total time harmonic electromagnetic field strength from high voltage and general cables have difference of 13~16 dB due to ground effect by impedance matching. The EMI results of FCEV at 10 m distance shows difference of 41 dB at 30 MHz and 54 dB at 230 MHz compared with only general cable routing.

**KEY WORDS** : FCEV(수소연료전지 차량), Stack(스택), High voltage cable(고전압 케이블), General cable(케이블), EMI(전자기 간섭), EMC(전자파 적합성)

<sup>†</sup>Corresponding author : choijh@hanyang.ac.kr

[ 접수일 : 2011.3.30 수정일 : 2011.4.20 게재확정일 : 2011.4.22 ]

## Nomenclature

- EMI : electromagnetic interference
- EMC : electromagnetic compatibility
- BOP : balance of plant
- FECV : fuel cell electric vehicles
- PEC : perfect electric conductor
- IGBT : insulated gate bipolar transistor
- MCU : motor control unit

## 1. 서 론

화석연료를 사용하면서 발생된 환경오염, 기후변화 지구 온난화 등의 환경 문제와 화석연료의 고갈에 따른 에너지 위기는 인류에게 신에너지 사회를 요구하고 있다. 특히, 근래의 산유국들의 정치적 이해관계와 중동 사태 등에 따른 원유 수입에 차질이 빚어지고 그에 따라 각국의 에너지 정책이 시시각각 변화하고 있다. 이 변화의 중심에 서있는 자동차 산업은 미래 사회에 해법을 제시해야만 한다<sup>1)</sup>. 이러한 입장에서 전문가들은 자동차의 패러다임 변화가 가솔린/디젤 내연기관차로부터 내연기관-전기 하이브리드 차를 지나 연료 효율과 친환경성을 모두 만족시킬 수 있는 수소를 연료로 사용하는 연료전지차로 흘러갈 것이라고 예측하고 있다. 이와 같은 예측에 따라 수소 연료전지 차량이 주목받고 있다<sup>2,3)</sup>.

수소 연료전지 차량은 수소와 산소의 전기화학반응으로 만들어진 전기를 이용하여 모터를 구동시키는 자동차를 의미한다. 자동차용 모터를 구동시키기 위해 필요한 수백 볼트의 고전압을 얻기 위해 수백 개의 단위전지가 직렬 연결된 것을 스택(stack)이라고 한다. 이와 같은 연료전지 스택의 효율적인 구동을 위해 BOP 시스템은 필수적이다.

특히, BOP의 경우 일반적으로 변압기를 통해 저압의 구동이 많은 것과 상반된 것으로 여러 하위 시스템을 포함하고 있으며, BOP 시스템의 모든 하위 시스템들은 고전압 케이블로 서로 연결된다. 게다가, 수소연료 전지 차량에는 기존의 차량들에 설치되어 있는 안전장치들과 엔터테인먼트(entertainment)와 information의 합성어) 장치 등을 위한 일반 신호

케이블들과 전원(12V)케이블들도 존재한다. 그러므로 수소 연료전지 차량의 케이블에 의한 EMI 세기를 예측하기 위해서는 고전압 케이블에 의한 EMI 뿐만 아니라 일반 케이블에 의한 EMI 세기를 함께 분석 하여야 하고 이 분석을 통해 수소 연료전지 차량의 필수 시스템인 BOP 시스템과 차량 전체의 전자 시스템의 전자기적 안전성을 확보할 수 있다. 또한 고전압 케이블과 일반 케이블 중 전체 EMI 세기에 주된 노이즈 원을 분석함으로써 차량 설계 시에 설계 우선순위를 정할 수 있다.

본 논문에서는 수소 연료전지 차량에 적용 중인 고전압 케이블들과 일반 케이블들의 사양들을 조사하여 시변전자기장에 대하여 상용 전자기장 수치해석 툴을 사용하여 수치해석을 수행하고 그 결과를 분석하였다.

## 2. 시뮬레이션을 위한 고전압 케이블 과 일반 케이블의 구조 및 입력 조건

수소 연료전지 차량에서 사용되는 고전압 케이블과 일반 케이블에 의한 차량에서 EMI 세기를 구하기 위해 다음과 같은 방법으로 수치해석 조건을 설정하였다.

정확한 수치해석 결과를 얻기 위해서는 실측을 통해 입력 값을 결정해야 하지만 수소 연료전지 스택에서 나오는 전류를 측정하는 것은 전류의 변동이 심하고, 측정의 표준화 등의 문제가 발생한다. 따라서 수소 연료전지 차량에서 사용되는 고전압과 일반 케이블 스펙에 나와 있는 사용가능한 최대 허용전류 값으로 모사하면 이 값은 전압의 변화나 인

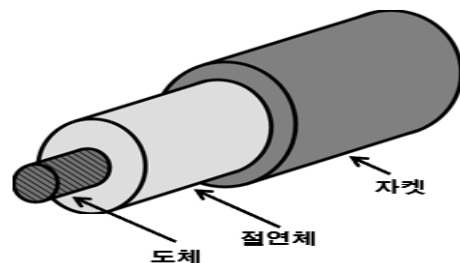


Fig. 1 Structure of general cable for FCEV

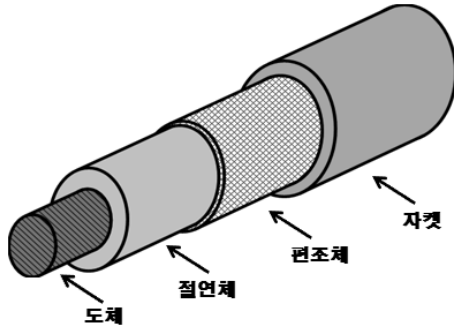


Fig. 2 Structure of high voltage cable for FCEV

버터 출력 단에서 모터 구동 시에 전류나 전압 값의 변화 까지 포함할 수 있다.

Fig. 1과 Fig. 2는 수소 연료전지 차량의 일반 케이블과 고전압 케이블의 구조를 각각 나타낸다.

Fig. 1에서 보는 바와 같이 일반 케이블의 경우에는 전기 또는 전기적인 신호를 보낼 수 있는 도체 부분, 이 도체 부분과 외부와의 절연을 위한 절연체, 절연체를 외부와 차단하기 위한 자켓으로 구성된다. Fig. 1은 일반 케이블의 대표적인 형태를 나타냈을 뿐, 이중 꼬임선, 동축선 등과 같이 케이블의 형태는 각각의 전자 장비 사양과 라우팅 특성에 따라 다르다.

Table 1은 일반 케이블의 모델별 구조에 따른 물리적인 크기들을 나타내었다. 케이블 모델들의 제

Table 1 Variable of structure and maximum current according to models in Fig. 1

모델	도체 단면적 (mm <sup>2</sup> )	절연체 두께 (mm)	자켓 두께 (mm <sup>2</sup> )	허용 전류 (A)
A	0.35	0.25	0.3	13
B	0.5	0.3	0.3	19
C	0.75	0.35	0.3	24
D	1.0	0.38	0.3	27
E	1.5	0.35	0.3	35
F	2.5	0.4	0.3	50
G	4.0	0.45	0.3	70
H	6.0	0.5	0.3	93

Table 2 Variable of structure and maximum current according to models in Fig. 2

모델	도체 단면적 (mm <sup>2</sup> )	절연체 두께 (mm)	편조체 두께 (mm <sup>2</sup> )	자켓 두께 (mm <sup>2</sup> )	허용 전류 (A)
A	3	0.25	0.1	1.15	130
B	5	0.3	0.1	1.15	250
C	50	0.25	0.1	1.15	420

조사명들이 언급되는 것을 피하기 위해서 케이블 종류를 영문 기호로 분류 해 놓았다.

Fig. 2는 수소연료 전지 차량에 적용되는 고전압 케이블의 구조를 나타낸다. Fig. 2에서 보는 바와 같이 고전압 케이블은 일반 케이블과 달리 편조체를 사용한다. 이 편조체는 전기장 차폐를 위해 사용되며, 편조율에 따라 전기장 차폐 효과가 달라진다. 일반 자동차의 케이블에 비해 높은 입력(대전류/고전압) 값을 갖기 때문에 고전압 케이블에서 편조체는 꼭 필요한 구조이다. 또한 고전압 케이블은 도체의 단면적이 일반 케이블에 비해 크다. 이는 고전압의 관점에서 보면 도체 단면적이 크면 저항 값을 낮출 수 있어 효과적인 에너지의 전달이 가능하기 때문이다. 또 하나 특이한 점은 고전압 케이블의 자켓은 오렌지색 계열이다. 이것은 고전압 케이블임을 나타내는 표식이며, 사용자, 혹은 정비공 등 감전에 대한 인체의 안전성을 위해 사용된다.

Table 2는 수소 연료전지 차량의 고전압 케이블의 모델별 구조 변수와 허용전류를 나타낸다.

### 3. 수소 연료전지 차량의 일반 케이블과 고전압 케이블의 시면자기장 해석 및 분석

일반적으로 수소 연료전지 차량의 전압과 전류는 구동 모터를 위한 3상 전원 라인을 빼고는 모두 이상적으로 DC이다. 하지만, 수소 연료전지 차량에 사용되는 구동용 인버터의 전도성 잡음(conducted emission)의 측정 주파수 영역에서 잡음 한계 초과 뿐만 아니라 노이즈 성분들이 측정 전압의 주파수 전대역에 걸쳐 나타났다<sup>4)</sup>. 즉, 수소 연료전지 차량에서

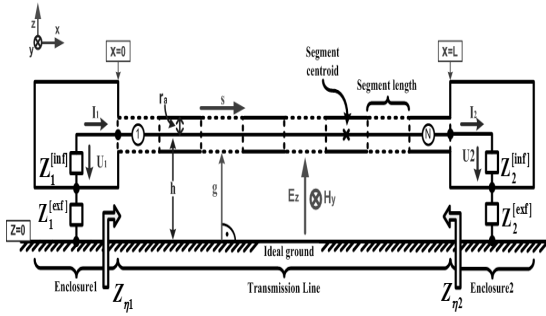


Fig. 3 Analysis variable factors between cable and ground plane

사용되는 인버터에서 IGBT(insulated gate bipolar transistor) 스위칭 시 발생하는 기본주파수와 그 고조파 성분들이 고전압 케이블에 유기 된다<sup>5)</sup>. 그러므로 그 고조파 성분들에 의한 전자기장을 예측하기 위해서는 시변 전자기장을 해석해야 한다.

또한, 모든 종류의 케이블들은 접지 조건 혹은 접지면 효과에 의해서 전자기장 특성이 달라지기 때문에 수소 연료전지 차량의 케이블의 해석의 정확도를 높이기 위해서는 차량의 새시를 포함한 접지면을 고려하여야 한다. Fig. 3에서와 같이 케이블과 접지면사이의 간격에 따라 전기장과 자기장이 영향이 변화하게 된다. 이러한 변화는 임피던스의 관점으로 해석될 수 있다. 즉, 접지면 효과에 따른 임피던스 값에 영향을 미치는 성분은 기생 커패시턴스 값과 기생 인덕턴스 값이다. 이 인자들은 식 (1)와 식 (2)를 이용하여 계산할 수 있다.

$$C' = \frac{C}{\ell} = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_r}{\ln\left(\frac{2h_{eff}}{r_a}\right)} \quad (1)$$

$$L' = \frac{L}{\ell} = \frac{\epsilon\mu_0\ell}{C} = \frac{1}{2\pi} \cdot \mu_0 \cdot \ln\left(\frac{2h_{eff}}{r_a}\right) \quad (2)$$

Fig. 4에서와 같이 케이블이 지나가는 특정 구역에서 접지 면의 모양이 변하는 접지 면에서 케이블과 접지면 사이의 높이와 그 케이블들이 위치한 접지 면의 면적에 따라 커패시턴스와 인덕턴스 값이 변하게

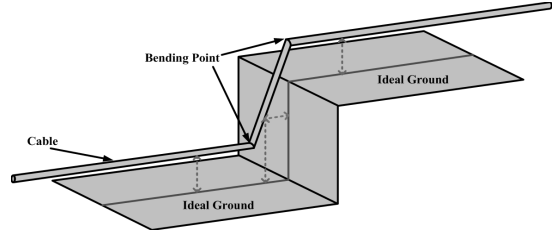


Fig. 4 Example of electromagnetic field analysis for cable according to ground shape

되어 케이블 고유 특성 임피던스 값에서 변하게 된다. 이 변화된 케이블의 특성 임피던스 값에 의해서 차량 새시에서 전자기장 분포와 원역 장(far-field) 방사에 영향을 미친다.

수소 연료전지 차량의 일반 케이블과 고전압 케이블 또한 이와 같이 접지면에 의해서 영향을 받거나 또는 접지면에 영향을 준다. 더욱이 수소 연료전지 차량과 같이 고전압을 사용하는 경우 그 영향이 일반 차량 보다 더 크다.

수소 연료전지 차량의 고전압 케이블과 일반케이블에 의한 차량 전자파 방사 시뮬레이션은 상용 전자기장 3D-EM 툴인 CST사의 Microwave studio 와 cable studio Ver. 2010을 사용하여 분석하였다<sup>6)</sup>.

접지면에 의한 수소 연료전지 차량의 방사 영향을 분석하기 위해서 접지면이 없는 경우를 선정하여 수소 연료전지 차량에 라우팅 되어 설치된 일반 케이블과 고전압 케이블만을 분석한다. 접지면이 없는 전체 케이블 구조를 Fig. 5에 나타내었다. Fig.

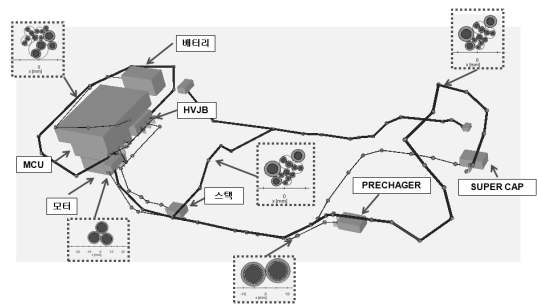


Fig. 5 Applied general and high voltage cable routing for fuel cell electric vehicle without ground plane

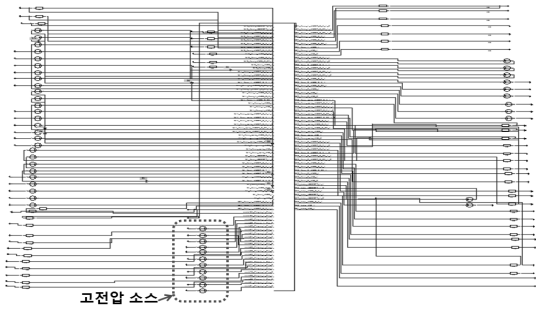
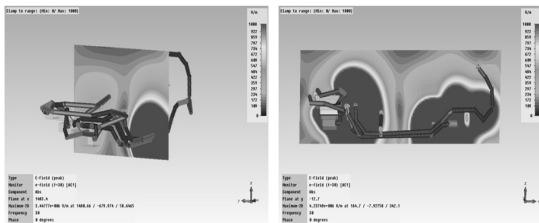


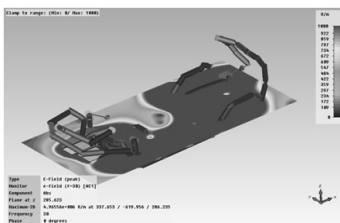
Fig. 6 Circuit schematic to analyze applied general and high voltage cables in Fig. 5

5에서 케이블들 사이의 전원 입력 접지와 부품들 사이의 케이블 배치를 위해서 스택, 배터리, 슈퍼 커패시터 등을 모사하여 함께 나타내었다. Fig. 5에서 MCU(motor control unit)와 모터 사이에 고전압 케이블은 3상의 입력으로 설정하였으며, 3상에는 서로 다른 위상을 입력하였다. MCU와 모터사이의 고전압 케이블을 제외하고는 설치된 고전압 케이블은 +, -로서 두 개의 케이블 묶음으로 설치하였다. 또한 일반 케이블의 경우에는 단일 선뿐만 아니라 이중 꼬임선 등과 같이 여러 가지 형태의 케이블이 묶



(a) y-z plane

(b) x-z plane



(c) x-y plane

Fig. 7 Electric field distribution according to Fig. 5 at 100 MHz

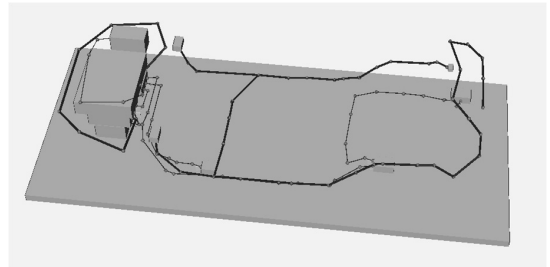


Fig. 8 Applied general and high voltage cable routing for fuel cell electric vehicle with ground plane

음 구조를 갖는다.

Fig. 6은 Fig. 5에 나타낸 일반 케이블과 고전압 케이블을 해석하기 위한 입력 조건을 나타낸 회로도이다. 점선 박스로 표시한 부분이 고전압 케이블을 위한 회로이다. 일반 케이블과 고전압 케이블 모두 최대 허용 전류를 인가하였다.

분석된 전기장의 분포를 Fig. 7에 나타내었다. Fig. 7은 100MHz에서 일반 케이블과 고전압 케이블에 의해서 발생하는 전기장의 분포를 각 평면 별로 나타내었다. 수치해석 결과에서 알 수 있듯이 전기장의 최대 세기는 편조 체의 사용에도 불구하고 고전압 케이블 주위에서 나타나며, 일반 케이블의 경우에는 전체 전기장의 분포에 크게 영향을 미치지 못함을 확인 할 수 있다.

접지면의 효과를 분석하기 위해서 Fig. 5에 나타낸 동일 조건으로 접지 면을 라우팅 되어져 있는 케이블들 바로 밑에 위치 시켰으며, Fig. 8에 나타내었다. 접지면 효과 해석의 용이성을 고려하여 접지 면의 재질을 PEC(perfect electric conductor)로 설정하였다.

접지면 설정을 제외하고 입력조건과 해석 구조 조건이 동일하기 때문에 회로도 구조도 Fig. 6과 동일하다. 그 해석 결과를 Fig. 9에 나타내었다. Fig. 9에서 접지 면에 의해서 전기장의 분포가 바뀌었음을 알 수 있으며, 전체적인 전기장의 분포가 바뀌면서 전기장의 세기가 접지 면이 없을 경우 보다 작아짐을 확인 할 수 있다. 이러한 전기장의 분포와 세기는 EMI에 영향을 주게 된다. 접지 면의 효과를 정량적

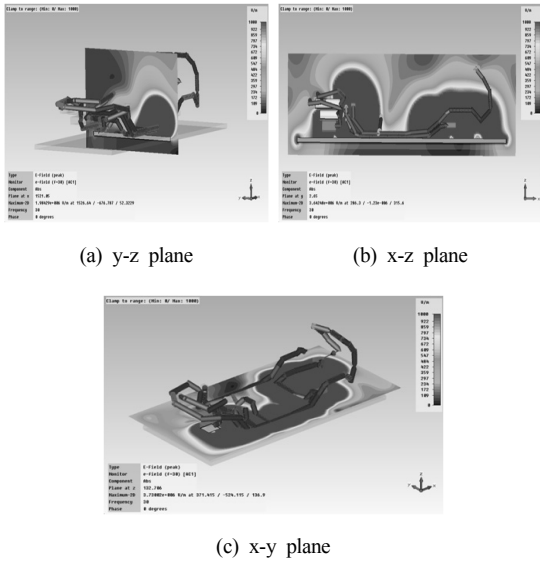


Fig. 9 Electric field distribution according to Fig. 8 at 100 MHz

으로 분석하기 위해서 차량 EMI 측정 표준문서에 명시되어 있는 차량 EMI를 측정하는 시험 방법과 동일한 방법으로 수치해석 하였다. 이때 기준 안테나의 거리는 10m로 설정하였다.

Fig. 10은 접지면 효과에 의한 해석된 EMI 세기를 나타낸다. Fig. 10에서 접지면 효과에 의해 주파

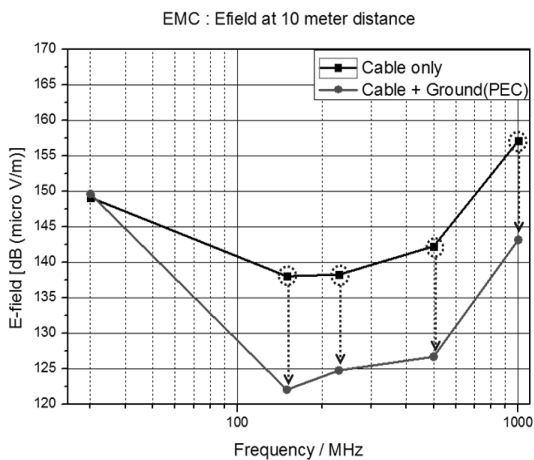


Fig. 10 The numerical analysis result of EMI for high voltage cable and general cable with/without ground plane

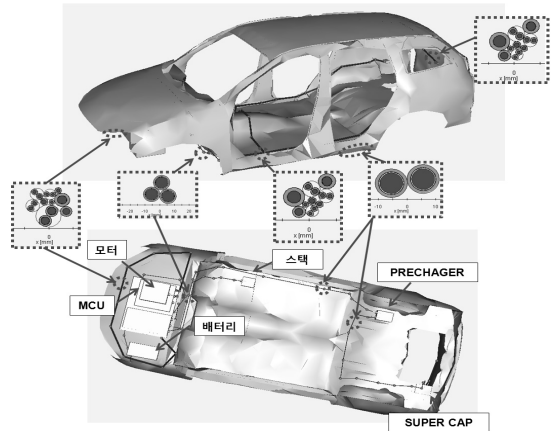
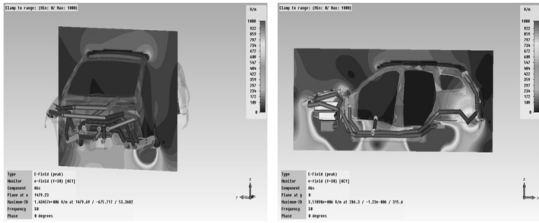


Fig. 11 Applied general and high voltage cable routing with chassis structure for fuel cell electric vehicle

수 전 주파수 대역에서 EMI 세기의 차이를 나타내고 있으며, 주파수에 따라 최대 16dB(500MHz에서), 최소 13dB(230MHz에서)의 차이가 나타남을 확인할 수 있다. 이러한 차이는 앞서 설명된 접지 면에 의한 임피던스 정합 이론으로 설명 되어질 수 있다. 즉, 접지 면이 없는 경우에는 공기(또는 진공)에서 케이블 단독으로만 케이블 길이 당 임피던스가 계산되어지고, 접지 면이 있는 경우에는 접지 면과 함께 케이블 길이 당 임피던스 값이 계산되어지기 때문에 케이블의 부정합 된 크기에 따라 전체적인 EMI 방사 세기가 변하게 된다. 그러므로 수소 연료전지 차량용 케이블 해석의 정확성을 높이기 위해서는 차량의 새시 접지 면을 고려해야 한다.

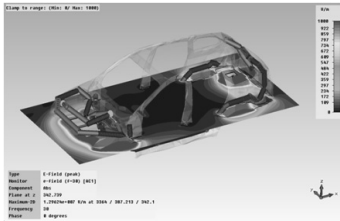
Fig. 11은 본 논문에서 최종적으로 해석하고자 하는 케이블과 차량 새시 구조를 나타낸다. Fig. 11에서도 동일하게 전체적인 입력 조건과 해석 구조 조건은 Fig. 5~6과 같게 설정 하였다. 차량 새시 구조는 현재 수소 연료전지 차량과 동일한 크기와 구조를 갖는 SUV 구조를 선택하여 수치해석에 적용 하였다. 또한 차량 새시의 재질은 해석의 용이성을 위해서 PEC로 설정하였다.

분석된 전자기장의 분포를 Fig. 12와 13에 각각 나타내었다. Fig. 12~13은 100MHz에서 일반 케이블과 고전압 케이블에 의해서 발생하는 전자기장의



(a) y-z plane

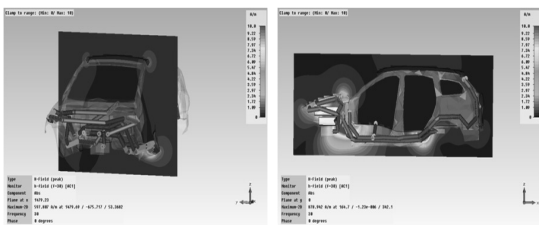
(b) x-z plane



(c) x-y plane

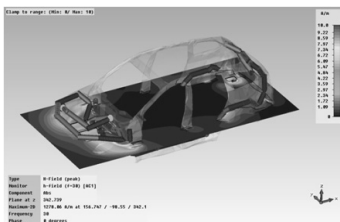
Fig. 12 Electric field distribution according to Fig. 11 at 100 MHz

분포를 각 평면 별로 나타내었다. Fig. 12는 Fig. 7, 9와는 다른 전기장 분포를 나타내고 있다. Fig. 7과 9에서는 고전압 케이블의 라우팅을 따라 전기장의 세기가 크게 분포 하였다. 하지만 Fig. 12에서는 고



(a) y-z plane

(b) x-z plane



(c) x-y plane

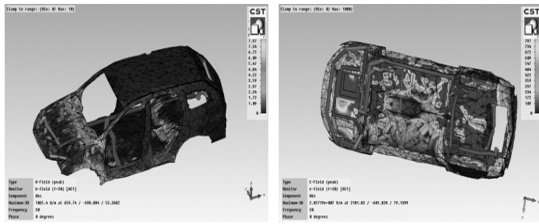
Fig. 13 Magnetic field distribution according to Fig. 11 at 100 MHz

전압 케이블의 라우팅이 많은 차량의 앞과 뒷부분에서만 전기장의 세기가 크게 나타난다. 이는 앞서 설명한 접지면 효과에 따른 결과이다. 고전압 케이블이 지나가는 차량 새시의 중간 영역은 케이블과 접지면 사이에 일정한 높이를 유지하여 안정된 접지 면을 유지하고 편조 체에 안정된 접지 조건을 제공하기 때문에 임피던스 부정합에 의한 전기장의 세기를 저감 시킬 수 있고, 편조 체에 의한 전기장을 저감 시킬 수 있는 것으로 해석된다. 미국과 독일의 경우에는 이러한 접지 면 효과를 고려하여 차량의 하부 프레임 구조 내에 연료 전지 시스템을 설치함으로써 연료전지 차량의 접지 면을 일정하게 유지 시킨다.

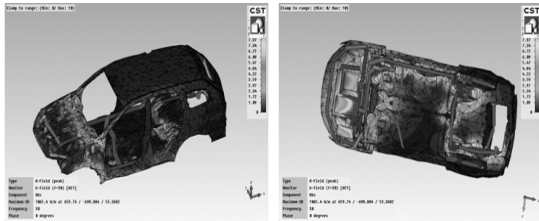
Fig. 13에서는 자기장의 결과를 나타내었으며, 자기장은 전기장에 비해 상대적으로 그 세기가 작고 좁은 영역에서만 분포하게 된다. 하지만, Fig. 13(b)에서 차량의 앞부분에 자기장이 크게 분포함을 알 수 있다. 자기장은 맥스웰 방정식의 암페어 법칙에서도 알 수 있듯이, 인접 케이블들에게 불필요한 전류를 유도하여 누화 현상을 일으킬 수 있다<sup>4)</sup>. 수소 연료전지 차량 앞부분에는 차량 구동 시스템과 BOP (balance of plant) 시스템뿐만 아니라 그와 관련된 하부 시스템 등, 여러 종류의 시스템들이 많이 위치 하므로, 고전압 케이블에 의한 자기장 차폐를 설계 시에 반영해야한다. Fig. 12에서 Fig. 13에서도 알 수 있듯이 수소 연료전지 차량용 케이블들에 의한 차량 전체 전자기장 세기에 일반케이블에 의한 전자기장은 크게 영향을 주지 않음을 다시 확인 할 수 있다.

Fig. 12는 고전압 케이블과 일반 케이블에 의해 수소 연료전지 차량 새시에 유기되는 전기장과 자기장을 각각 나타내었다.

Fig. 14의 결과에서 고전압 케이블의 경우에는 편조 체를 사용했음에도 불구하고 고전압 케이블의 라우팅을 따라서 전기장에 의한 차량 새시에 많은 핫 스팟들이 존재함을 확인 할 수 있다. Fig. 14(a)에서 전기장의 경우에는 고전압 케이블 라우팅 주변뿐만 아니라 차량 새시의 많은 부분에서 핫 스팟들이 존재하는 반면에 Fig. 14(b)에서 자기장의 경



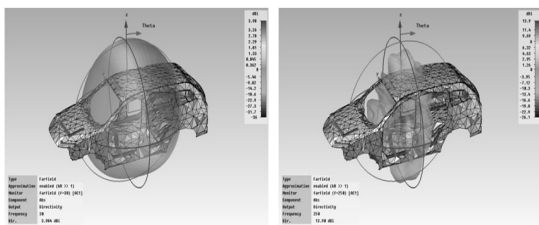
(a) Electric field



(b) Magnetic field

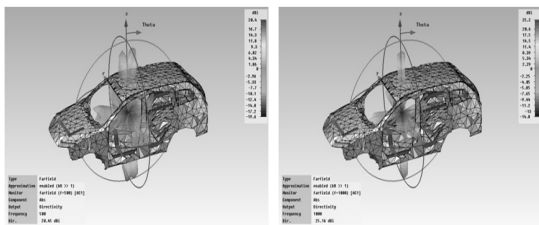
Fig. 14 Time varying field distribution coupled to chassis of FCEV at 30 MHz

우에는 고전압 케이블의 인접 주변에서만 나타나게 된다. 이는 앞서 설명했던 바와 같이 고전압 케이블의 인접 케이블들의 누화를 초래할 수 있다. 전기장과 자기장에 의한 이 핫 스팟들은 차량 새시 접지의



(a) 30 MHz

(b) 230 MHz



(c) 500 MHz

(d) 1000 MHz

Fig. 15 Analyzed far-field for high voltage cable and general cable with FCEV chassis structure according to frequency

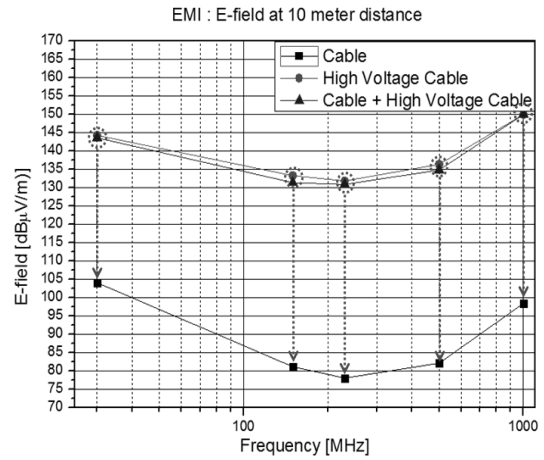


Fig. 16 The numerical analysis result of EMI for high current/voltage cable and general cable with FCEV chassis structure

무 결성에 나쁜 영향을 줄 수 있다. 수소 연료전지 차량용 고전압 케이블들과 일반 케이블들에 의한 전자기장이 EMI에 얼마나 영향을 미치는지를 분석하기 위해서 앞선 경우와 동일하게 차량 EMI 세기를 수치해석 하였다.

Fig. 15에 EMI를 분석하기 위해서 주파수에 따른 차량에서 방사되는 원역장의 방사 모양을 나타내었다. 주파수가 높아짐에 따라서 방사 모양이 뾰족해지고, 주파수에 따른 세기가 변하는 것을 확인 할 수 있다. 이는 안테나 관점에서 차량 새시가 안테나 방사체 역할을 하게 되며 주파수가 커짐에 따라 파장의 길이가 짧아지므로 차량 새시에 의한 방사체의 상대적인 전기적인 크기가 커지기 때문이다.

Fig. 16은 수소 연료전지 차량에 적용되는 고전압 케이블과 일반 케이블이 라우팅 된 차량 새시에서 방사되는 EMI의 레벨을 나타내고 있다. Fig. 16에서 고전압 케이블만 라우팅 된 경우와 고전압 케이블과 일반 케이블이 모두 적용된 경우를 비교하면 전 주파수에서 거의 차이가 나지 않지만, 전체 케이블 라우팅 중에 일반 케이블 라우팅만 적용된 경우에는 전체 고전압 라우팅을 포함 했을 때와 비교해서 주파수에 따라 최대 54dB(230MHz에서), 최소 41dB(30MHz에서)의 차이가 나타난다. 일반 케이블의 경우, 고전압 케이블에 비해 상대적으로 단면적



이 작고 적은 크기의 입력 값을 사용하므로 상대적으로 낮은 EMI 세기를 나타내며, 일반 케이블의 전체적인 EMI 세기가 고전압 케이블의 EMI 세기에 묻혀서 나타나기 때문에 일반 케이블에 의한 전자파 방사는 전체 EMI 세기에 거의 영향을 주지 못한다. 그러므로 차량 전자파 방사 관점에서 수소 연료전지 차량의 케이블 라우팅 설계 시 일반 케이블 보다 고전압 케이블의 라우팅이 최우선으로 고려되어야 한다.

이러한 수치해석 결과들을 통해 충분히 고전압 케이블과 일반 케이블들에 의한 수소 연료전지 차량의 EMI 레벨을 예측 할 수 있었다. 또한 고전압 케이블의 전자기장 차폐 제 사용과 접지면 효과를 고려한 고전압 케이블 라우팅의 중요성, 차량 전체 케이블 라우팅 설계 시 고전압 케이블의 설계 우선 순위의 중요성을 확인 할 수 있었다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 수소 연료전지 차량에 사용되는 고전압 케이블과 일반 케이블의 라우팅을 고려한 시변전자기장의 세기를 수치해석을 통해 분석하였다.

- 1) 접지 면을 고려한 전체 케이블들에 의한 시변전자기장 해석; 주파수에 따라 최대 16dB(500MHz에서), 최소 13dB(230MHz에서)의 차이가 나타남을 확인 할 수 있었으며, 이러한 차이 접지 면에 의한 임피던스 정합 이론으로 설명 되어질 수 있으며, 부 정합 된 크기에 따라 전체적인 EMI 세기가 변하기 때문이다.
- 2) 수소 연료전지 차량 새시를 고려한 전체 케이블들에 의한 시변전자기장 해석; 전체 케이블 라우팅 중에 일반 케이블 라우팅만 적용된 경우에는 전체 케이블 라우팅과 비교해서 주파수에 따라 최대 54dB(230MHz에서), 최소 41dB(30MHz에서)의 차이가 나타난다.

수치해석 결과로 부터 차량 전자파 방사 관점에서 수소 연료전지 차량의 케이블 라우팅 설계 시에 일반 케이블 보다 고전압 케이블의 라우팅이 최우선으로 고려되어야 한다.

## 후 기

본 연구는 국토해양부 교통체계효율화사업의 연구비지원(07교통체계-미래02)에 의해 수행되었습니다.

## 참 고 문 헌

- 1) 박노언, 김형욱, “수소·연료전지 연구개발 투자현황 분석”, 한국수소 및 신에너지학회논문집, Vol. 21, No. 2, 2010, pp. 143-148.
- 2) 장규진, 최영민, 김상현, 안병기, 임태원 “연료전지자동차의 고압수소저장 시스템 신뢰성 평가”, 2008 한국자동차공학회 창립 30주년 기념 학술대회 논문집 서울, 2008, pp. 1982-1987.
- 3) Karl-Heinz Hauer, “Analysis Tool for Fuel Cell Vehicle Hardware and Software (Controls) with an Application to Fuel Economy Comparisons of Alternative System Designs”, University of California Davis, Transportation Technology and Policy, 2001.
- 4) 이순용, 최재훈, “수소 연료전지 차량용 고전압 케이블의 전자파 특성 수치해석에 관한 연구”, 한국수소 및 신에너지학회논문집, Vol. 21, No. 3, pp. 149-157.
- 5) Bo Zhang, Shaofeng Yu, Wei Li, Yong Huang, Jinliang He, “Investigation of Conducted Disturbance from Driving system in Fuel Cell Bus”, Zurich Symposium on EMC, Munich, 2007.
- 6) CST-Microwave Studio and cable studio, Ver. 2010, Computer Simulation Technology.