하이브리드/전기 자동차용 고전압 커넥터의 전자기 해석

논 문
60-1-21

EM Analysis of High Voltage Connector for Hybrid/Electric Vehicle

이 준 상* · 김 중 민** · 남 기 훈* · 배 현 주* · 성 진 태*** · 나 완 수†

(June-Sang Lee · Jongmin Kim · Ki-Hoon Nam · Hyeonju Bae · Jin-Tae Sung · Wansoo Nah)

Abstract - This paper analyzes EM(Electromagnetic) characteristic in the high voltage connector for the hybrid electric vehicle. The connector bridges the electrical components and helps transferring electrical power and signal through it. The necessity of the high voltage and current connector development is emphasized because the hybrid electric vehicle recently uses the high voltage and current more than 500V and 80A. So far there has not been international EMC (Electromagnetic Compatibility) standards to limit the RE(Radiation Emission) from the connector for the hybrid electric vehicle. In this paper we analyzed EM characteristic of the 288V, 65A connector to check if the RE from the high voltage connector could be within the RE limit standard of vehicle. Three-dimensional modeling and simulation was conducted by using MWS(Microwave Studio) of the CST corporation, and the result was compared with the measured RE data, which showed good coincidence each other.

Key Words : High voltage connector, HEV, EMC, FDTD simulation, Radiation measurement

1. 서 론

차세대 미래형 자동차는 기존의 내연기관(ICE: Internal Combustion Engine) 자동차의 여러 단점들을 극복하기 위하여 빠르게 발전하고 있다. 내연기관 자동차의 주동력원인 화석연료의 고갈 및 공해 문제로 인해 고효율적이며 친환경적인 자동차들이 개발 중에 있으며, 더 나아가 자동차와 첨단 IT 기술의 융합을 통해 편의성과 안정성을 접목시킨 지능형 미래 자동차 산업이 가속화되고 있다. 미래형 자동차로 대표되는 전기 자동차(EV: Electric Vehicle)는 내연 기관이 없이 배터리에 충전된 전기 에너지로 모터를 구동시켜 동력을 발생하는 자동차이다. 하지만 핵심 동력원인 배터리의 긴 충전 시간 및 짧은 수명, 무게, 가격 등과 같은 내부적 문제와 배터리 충전 인프라 미비와 같은 외부적 문제로 인해 상용화에는 아직 어려움이 있다. 하지만 이러한 어려움을 극복하기 위해 국내외에서는 다양한 종류의 전기 자동차가 개발 중에 있다.[1] 이러한 미래형 자동차들은 공통적으로 다수의 전장품이 차량에 내장되어 있다. 그 중에서도 전력제어에 관련된 전력전자부품의 비중이 매우 높아졌다. 그 결과 차량에서 필수적으로 사용되는 IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor) 또는 Power MOSFET(Metal-Oxide Semiconductor Field Effect Transistor)과 같은 대전

력 스위칭 소자 및 전기 모터를 구동할 때 유기되는 노이즈 성분은 결속된 전자제어 시스템에 왜곡된 전원 및 신호 전송을 유발한다. 이런 불안정한 전원은 고전압 케이블과 커넥터에서 전자파 간섭(EMI : Electromagnetic Interference)을 발생하여 인근 전장품의 오작동을 초래해 자동차의 안전성에 악영향을 미칠 수 있다.[2] 현재 자동차의 전자파 적합성(EMC : Electromagnetic Compatibility)관련 주파수 대역은 30MHz에서 1GHz까지 이나, 앞으로의 미래형 자동차에 들어가는 전장품들은 1GHz이상의 광대역 주파수가 이용되기 때문에 이런 고주파 환경에서 전원 및 신호 전달특성 부분을 집중적으로 검토해야만 한다.[3] 아직 전기 자동차에 대한 EMC 국제 규격은 해당 위원회에서 검토 중에 있으며 조만간 규격화가 완성될 것으로 예상되고 있으나, 그 기본적인 틀은 기존의 엔진 구동 자동차의 규격과 크게 다르지 않다.[9] 따라서 현 단계에서 각 제조사들은 기존의 엔진 구동 자동차의 규격 또는 자체로 제정한 규격을 이용하여 EMC 대응 설계를 하고 있는 실정이다. 본 논문에서는 미래형 전기/하이브리드 자동차용 고전압 커넥터의 전기 신호 전달(Transfer), 반사(Reflection), 누화(Crosstalk), 방사(Radiation) 특성을 실험과 시뮬레이션을 통하여 분석하였고, 그 결과 두 분석 결과의 상관관계를 확인하였으며, 여기에서 나온 전자파 방사가 기존의 엔진 구동 자동차의 방사 규격을 충족함을 확인하였다.

2. 본 론

2.1 전기/하이브리드 자동차의 현황 및 커넥터의 역할

고전압 시스템 및 전장품을 내장하고 있는 전기자동차는

* 준 회 원 : 성균관대학교 정보통신공학부 석사과정

** 정 회 원 : 성균관대학교 정보통신공학부 박사과정

*** 정 회 원 : (주)유라코퍼레이션 기술연구소

† 교신저자, 시니어회원 : 성균관대학교 정보통신공학부 교수

E-mail : wsnah@skku.edu

접수일자 : 2010년 9월 13일

최종완료 : 2010년 11월 18일

고출력 특성 향상을 위해 동력원의 형태를 다양하게 변화시키고 있으며 주 동력원인 배터리 형태에 따라 전기 자동차를 구분할 수 있다. 하이브리드 전기 자동차(HEV: Hybrid Electric Vehicle)는 운행 시 내연기관을 통해 충전된 배터리의 전기 에너지로 모터를 구동시켜 주행된다. 현재 배터리 성능의 한계로 인해 두개의 동력원이 사용되고 있다. 반면 플러그인 하이브리드 전기 자동차(PHEV: Plug-in Hybrid Electric Vehicle)는 가정이나 충전소에서 충전된 배터리의 전기 에너지로 모터를 구동시켜 주행된다. 배터리 방전 시 HEV방식으로 주행되지만 별도로 배터리를 충전할 수 있기 때문에 내연기관의 의존도가 감소하여 고연비 특성을 나타낸다. 최근 배터리의 의존도를 줄이기 위해 국내에서 새롭게 시도되고 있는 온라인 전기 자동차(OLEV : On-Line Electric Vehicle)는 도로 아래에 가설된 급전선로에 의해 발생된 자기장을 차량 하부에 설치된 집전장치가 전압으로 변환하여 모터를 구동하고 여분의 전기 에너지는 배터리에 충전하는 새로운 개념의 전기 자동차이다. 배터리는 비상시에만 사용되므로 배터리의 무게와 크기가 일반 전기 자동차에 비해 1/5수준으로 감소될 수 있는 장점이 있다. 이렇듯 동력원을 저장할 수 있는 전원 장치의 다양한 변화는 12V에서 500V까지 사용하는 전기 자동차의 고전압 시스템 환경 안에서 발생할 수 있는 여러 가지 전자기적 문제 해결을 요구하고 있다.[4] 특히 전압 증폭을 위한 Booster converter, 모터 구동을 위한 Inverter, 12V용 일반 전장품 사용을 위한 DC-DC converter에서 발생하는 노이즈 소스는 대전력 전송을 위한 고전압 커넥터를 통해 그대로 전송된다. 따라서 전장품을 작동시키기 위하여 전기적인 성질의 부품들을 서로 연결하고 전원을 전달함으로써 전장품이 정상 작동하게 역할을 하는 차량용 커넥터의 전자기 해석은 전기 자동차의 신뢰성 향상을 위해 다른 전장품 보다 최우선적으로 이행 되어야 한다. 전자기 해석은 3차원 모델링을 통한 시뮬레이션과 측정을 통해 결과를 비교하여 이행될 수 있다.[5][6]

2.2 커넥터의 형상

본 연구에 사용된 하이브리드 자동차용 커넥터는 입력 측에 DC 전원을 전송 받아서 출력 측인 차량용 에어컨과 인버터로 DC전원을 전송 하는 역할을 한다. 커넥터의 전체 크기는 181mm×132mm×67mm(Width×Depth×Height) 이다. 커넥터는 총 3가지 부분으로 구분되며 구성은 입력 측과 연결된 DC 커넥터, 에어컨과 연결된 A/Con 커넥터, DC와 A/Con 커넥터를 접속시켜주며 인버터와 연결되는 Main-Body 커넥터로 되어 있다. 여기서 A/Con은 편의상 에어컨을 약자로 표기 한 것이다. DC 커넥터로는 15kW, 288V, 65A의 전원이 전송되며 A/Con 커넥터로는 4.5kW, 288V, 20A의 전원이 전송되고 Main-Body 커넥터에 연결된 인버터로는 10.5kW, 288V, 45A의 전원이 전송된다. 다시 말해 A/Con 커넥터와 Main-Body 커넥터의 출력의 합은 DC 커넥터의 출력과 같다. DC와 A/Con 커넥터는 크기와 모양이 다를 뿐 기본적으로 내부 구성품은 같다. DC와 A/Con 커넥터의 4가지 주요 구성품은 케이블과 Main-Body 커넥터를

그림 1 DC 커넥터를 이루고 있는 구성품들

Fig. 1 Several components of a DC Connector

그림 2 메인 보디 커넥터를 이루고 있는 구성품들

Fig. 2 Several components of a main-body connector

연결시켜주는 와이어 연결부(Wire connection), 와이어 연결부를 보호하는 내부 하우징(Inner housing), 전자파 간섭을 방지하기 위한 커넥터 차폐부(Shield), 외부 충격으로부터의 보호를 위한 외부 하우징(Outer housing) 부분으로 구성된다. 그림 1은 DC 커넥터의 주요 구성품을 나타내고 있다. Main-Body 커넥터의 4가지 주요 구성품은 대전류의 분기를 위해 커넥터의 중심체 역할을 하는 모선(Bus bar), 모선을 보호하는 하우징, 차폐부 역할을 하는 Under cover와 Upper cover 부분으로 구성된다. 그림 2는 Main-Body 커넥터의 주요 구성품을 나타내고 있다. 본 연구에 사용된 커넥터는 많은 부품들이 이용되었고 개수는 총 71개이다. 그 중 유전체를 사용한 부품은 23개이고 도체를 사용한 부품은 48개이다. 유전체와 도체를 합쳐서 전체 10개의 재료가 사용되었으며 재료 물성 정보를 표 1에 나타내었다. 전원을 전송하는 핵심 역할을 하는 와이어는 동축선로 구조로 되어있어

표 1 재료 물성 정보

Table 1 Information for material constant

	Material	conductivity σ (at 20°C)	Dielectric Constant ϵ_r	Loss tangent (at 1MHz)
1	AL Alloy	4.237E+6	-	-
2	ASTM B33	5.4027E+7	-	-
3	C1100R	5.626E+7	-	-
4	C2680R	1.5625E+7	-	-
5	C5191R	9E+6	-	-
6	CuNiSi	3.5E+7	-	-
7	PBT1500G30	-	3.20	0.0200
8	PBT1503	-	3.20	0.0200
9	Polyethylene	-	2.25	0.001
10	Polyolefine	-	2.27	-

- : Not available

표 2 사용된 와이어의 사이즈

Table 2 Size of Wire

	DC Connector	A/Con Connector
Core	5.3 mm	3.2 mm
Inner dielectric	1.1 mm	0.3 mm
Shield	0.7 mm	0.4 mm
Outer dielectric	0.7 mm	0.35 mm
Total diameter	10.3 mm	5.25 mm

재료의 종류와 구조에 따라 전기적 전송 특성이 변화한다. 와이어의 중심체(Core)는 표 1의 2번 재료가 사용 되었고 내부유전체(Inner dielectric)는 9번 재료가 사용 되었으며 외부유전체(Outer dielectric)는 10번 재료가 사용 되었다. 표 2는 와이어의 구조적 크기를 나타내고 있다.

2.3 커넥터의 3차원 모델링

복잡한 형태와 분할된 구조를 가지는 대상의 3차원 해석을 위해 널리 사용되고 있는 2가지 방식은 유한 요소법(FEM : Finite Element Method)과 시간 영역 유한 차분법(FDTD : Finite Difference Time Domain Method)이 있다.[7] 본 연구에서는 하이브리드 자동차용 고전압 커넥터의 복잡한 구조의 전자기 해석을 위해 시간영역 유한차분법 기반인 독일 CST(Computer Simulation Technology)사의 MWS(Microwave Studio)를 이용하였다. 이 상용 프로그램을 이용한 커넥터의 3차원 모델은 그림 3과 같다. 시뮬레이션에서 이용된 Port는 총 4개이며 DC 커넥터의 (+)와 (-) 단자를 Port1과 Port2로 지정하였고 A/Con 커넥터의 (+)와 (-) 단자는 Port3과 Port4로 지정하였다. 실제 DC로 동작하는 커넥터의 고주파 특성을 해석하기 위해 시뮬레이션 상에서 커넥터 단자에 AC 전원을 입력 하였다. 시뮬레이션 주파수 범위는 DC에서부터 1GHz까지 설정하였으며 DC 커넥터 단자와 A/Con 커넥터 단자간의 전달 특성, 반사 특성, 누화 특성, 방사성 방출 특성을 분석하였다. 하지만 커넥터의 전

그림 3 커넥터의 3차원 모델

Fig. 3 Three-dimensional model of Connector

그림 4 모델 수정

Fig. 4 Model Modification

체 형상이 격자 구성을 분할하기에 어려운 곡면 형태로 되어 있었다. 또한 주파수가 증가함에 따라 3m거리까지의 방사 영역을 분할하기에는 파장의 길이가 매우 짧았다. 따라서 저주파부터 고주파까지 Maxwell 방정식을 이용해 해석하는 Full-Wave EM simulation을 하기에는 수백만개 이상의 격자구성을 필요로 하였다. 시간 영역 기반의 프로그램을 사용했음에도 불구하고 다수의 격자구성으로 인해 해석 시간이 오래 걸리는 문제가 발생 하였지만 해결을 위해 해석 결과에 영향을 미치지 않는 범위에서 모델을 수정하였다. 격자 구성이 많이 생기는 DC, A/Con 커넥터와 Main-Body 커넥터의 굴곡부분 및 홈이 파인부분을 단순하게 수정을 하였으며 특히 작은 돌기와 같이 불필요한 부분을 제거하였다. 그 결과 전체 격자구성 개수 및 크기를 줄여 해석 시간을 1/3로 단축하는 효과를 보였다. 모델 수정 방식은 본래의 모델과 같은 특성을 보이기 때문에 3차원 해석 분야에서 널리 사용되고 있다.[8] 그림 4는 모델 수정을 나타낸 그림이다.

그림 5 신호전달 특성 계산 결과 (S_{31} , S_{42})Fig. 5 Calculated signal transfer characteristics (S_{31} , S_{42}) 그림 6 반사 특성 계산 결과 (S_{11} , S_{22} , S_{33} , S_{44})Fig. 6 Calculated reflection characteristics (S_{11} , S_{22} , S_{33} , S_{44})

2.4 시뮬레이션 및 결과 분석

S-Parameter는 주파수 영역에서 입력과 출력의 전력비율을 의미 한다. 이를 통해 전력이 입력 측에서 출력 측까지 얼마만큼 전달되는지 확인 할 수 있다. 전달 특성은 실제 전력이 전달된 척도를 나타내며 S_{31} 는 (+)와이어의 입력측인 Port1과 출력측인 Port3의 전력비율을 표현한 것이다. 이와 마찬가지로 S_{42} 는 (-)선로의 전력비율을 표현한 것이다. 그림 5의 전달 특성 결과를 보면 각 단자는 약 200MHz부터 전달특성이 감소하기 시작하여 400MHz 이후부터 전달특성이 -3dB이하로 나빠짐을 확인 할 수 있다. -3dB선정 기준은 식 1을 통해 입력대비 출력의 비가 반이 되는 1/2로 하여 계산되었다.

$$dB = 10 \log \frac{P_{output}}{P_{input}} \quad (1)$$

출력이 1/2로 이하로 감소하면 전력 전달 측면에서 봤을 때 효율성이 좋지 않다고 판단 할 수 있다. 반사특성은 전력이 전송되지 않고 각 단자로 되돌아오는 전력비율을 나타내며 S-Parameter를 통해 계산된다. 그림 6의 반사특성 결과를 보면 4개의 단자 모두 약 400MHz부터 전송되지 않고 되돌아오는 전력비율이 증가한 것을 확인 할 수 있다. 전달특성과 반사특성을 비교하여 봤을 때 반사특성이 증가할수록 전달특성은 감소하는 관계임을 볼 수 있다. 누화 특성은 서로 연결 되어있지 않은 인접한 단자간의 커플링(coupling) 현상

그림 7 누화 특성 계산 결과 (S_{21} , S_{41} , S_{23} , S_{43})Fig. 7 Calculated crosstalk characteristics (S_{21} , S_{41} , S_{23} , S_{43})

그림 8 3m 위치에서 계산된 전자파 방사 특성

Fig. 8 Calculated radiated Emission at 3 meters

을 나타내며 다수의 포트를 가지고 있는 시스템에서 가까운 단자간의 누화를 근단 누화(NEXT : Near End Crosstalk)라 하고 멀리 있는 단자간의 누화를 원단 누화(FEXT : Far End Crosstalk)라 한다. S_{21} 과 S_{43} 이 근단 누화이고 S_{41} 과 S_{23} 이 원단 누화이다. 그림 7의 누화 특성 결과를 보면 200MHz 이하에서 근단 누화 현상이 원단 누화 현상보다 약 10dB 높게 발생하는 것과 400MHz 이후부터는 근단 누화와 원단 누화 특성이 유사하다는 것을 확인할 수 있다. 방사 특성은 전력이 여러 요인들에 의해 전달되지 않고 에너지 형태로 외부에 방사되는 것을 말하며 거리에 따라 그 양이 달라진다. 방사의 종류에는 전도성 방출(CE : Conducted Emission)과 방사성 방출(RE : Radiated Emission)이 있다. 그림 8의 방사성 방출 특성 결과는 3-Meter chamber radiation 특성을 나타내었으며 Port1과 Port3인 EMC1과 EMC3는 약 680MHz에서 최대 방사 특성을 보인다. Port2와 Port4는 약 840MHz에서 최대 방사 특성을 보인다. 400MHz 이전에서는 모든 Port가 유사한 방사특성을 보이다가 400MHz이 후부터는 조금씩 다른 방사특성을 나타냈다.

2.5 방사성 방출 측정 및 결과 분석

전자파 간섭은 연결된 전송선에 의해 전파되는 전도성 방출과 외부 공간으로 전파되는 방사성 방출에 의해 발생한다. 현재 자동차용 커넥터의 전자파 간섭 문제를 해결하기 위해서 차폐 기술(Shielding Technology)을 이용하고 있는

표 3 측정에 사용된 안테나 범위

Table 3 Antennas used for RE measurement

주파수대역	LF	MF	HF	VHF	UHF	SHF
주파수	30kHz~300kHz	300kHz~3MHz	3MHz~30MHz	30MHz~300MHz	300MHz~3GHz	3GHz~30GHz
미소 루프 안테나						
미소 다이폴 안테나						
모노폴 안테나						
반파장 다이폴 안테나						
Biconical 안테나						
log-periodic 안테나						
혼 안테나						

→ : 일반적으로 이용되는 방해 전자파 측정용 안테나

그림 9 커넥터 방사 특성 측정 전경

Fig. 9 Pictorial view to measure RE from a connector

며 크게 두 가지 방식으로 문제를 해결하고 있다. 개별차폐 방식은 커넥터 안쪽까지 개별 차폐부품을 사용하여 단자를 포괄하는 방식이다. 반면 일괄차폐 방식은 비차폐 케이블을 사용하여 전기적 접속을 이룬 후 편조선(Braided wire)으로 와이어 하네스(Wire Harness)의 전체를 감싸고 이를 커넥터의 끝단에 압착 연결하는 방식이다. 하지만 차폐기능을 커넥터에 추가하면 단품 크기가 커지는 단점이 있다. 이런 전장품의 차폐기능을 확인하기 위해서 주로 방사성 방출을 측정한다. 방사성 방출은 전자파무향실(EMI chamber) 안에서 EMI 측정용 안테나를 통해 측정된다. 표 3은 측정용의 안테나의 종류 및 주파수 대역을 나타낸 그림이다. 현재 자동차 및 전장품에 관한 EMC 국제 규격은 ISO(International Organization for Standardization), CISPR(Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques)등이 있으며, 본 연구에서 사용된 규격은 현재 규격 검토중인 "자동차 및 불꽃점화 엔진구동 기기류 기술기준 및 시험 방법 /KN 41"을 사용하였다.[9] 이 규격에 따르면 1m거리에서 측정하였을 때 자동차의 전기·전자장치 부품 중 불꽃점화 시스템 및 전기모터 등에 의한 광대역 전자파방사 허용 기준은 그림 11에 나와 있는 것과 같이, 30MHz에서 75MHz 대역까지는 66dB μ V/m에서 52dB μ V/m이하이고 75MHz에서 400MHz까지는 56dB μ V/m에서 67dB μ V/m이하이며 400MHz

그림 10 측정 환경

Fig. 10 Measurement Environment

그림 11 Main-Body 커넥터의 구성품

Fig. 11 Component of Main-Body Connector

에서 1GHz까지는 67dB μ V/m이하로 규정한다. 여기서 광대역이라고 함은 자동차가 키 On 및 엔진 On이 되어 있는 상태를 지칭하며 협대역은 자동차가 키 On과 엔진 Off가 되어 있는 상태를 말한다. 커넥터의 방사성 방출의 측정을 위해 1m측정법으로 Biconical antenna를 이용하여 전자파무향실에서 방사를 측정하였다. 그림 9은 커넥터의 실제 측정 모습이다. 그리고 그림 10과 같이 신호발생기(Tracking Generator)인 ROHDE&SCHWARZ사의 SMB100A를 이용하여 110MHz에서 1GHz까지의 소스를 커넥터의 Port2에 인가하고 나머지 Port는 50 Ω 으로 종단(Termination) 시킨 후 스펙트럼 분석기(Spectrum analyser)인 ROHDE&SCHWARZ사의 ESU EMI TEST RECEIVER로 방사량을 분석하였다. 그 결과는 그림 11에 나타내었다. 시뮬레이션 및 측정은 약 400~500MHz와 700~900MHz에서 유사한 최대 방사 특성을 보였지만 500~700MHz에서는 차이를 보였다. 하지만 시뮬레이션 및 측정값 모두 제시한 규격에 만족 되는 것을 확인하였다.

3. 결 론

주지하다시피 전기 자동차 안에서 고전압 및 고주파 전장품의 비율이 증가함에 따라 전장품의 EMC 대응설계 및 신

뢰성 확보의 필요성이 대두되고 있다. 이를 위해서 제품의 설계 단계에서 전자기 해석을 수행하게 되면 전자파 방사에 문제가 없는 제품을 설계 단계에서 확보할 수 있게 되며, 이러한 선행 작업을 통해서 각 전장품 및 전체 차량에 대한 전자기적 신뢰성이 더욱 향상 될 수 있게 된다. 현재 전기/하이브리드 자동차의 전자파 방사 국제 규격은 제정/검토 단계에 있으며 이 단계에서 자사/자국이 유리한 고지를 선점하기 위해서 경쟁적으로 연구를 하고 있다. 국내에서도 이러한 추세에 적극적으로 대응하여 나름대로의 데이터를 확보할 필요가 있다. 이러한 관점에서 본 논문에서는 전기 자동차의 주요 전장품 중 하나인 고전압 커넥터의 전자기 특성을 실험 및 시뮬레이션을 통하여 분석, 그 결과를 비교 하였으며 복잡한 커넥터 구조에서의 3차원 시뮬레이션 방법의 유효성을 검증하였다. 이번 연구에서 시도했던 분석 방법 및 결과는 전기 자동차의 커넥터뿐만 아니라 다른 전장품에 대한 3차원 모델링 및 전자기 해석에 좋은 선례가 될 수 있을 것으로 생각된다. 서론에서 언급한 바와 같이 고효율적이며 친환경적인 전기 자동차의 구동은 대전력 사용이 필수적이므로 하이브리드 자동차용 고전압 커넥터의 전자기 특성 분석은 차량에 정확한 전원 및 신호 전달 분야에 있어 널리 이용될 것으로 기대한다.

감사의 글

본 연구는 교육과학기술부·지식경제부 산하 한국산업기술진흥연구원이 주관하는 산학협력중심대학육성사업의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] C.C. Chan, "The State of the Art of Electric, Hybrid, and Fuel Cell Vehicles", Proceedings of the IEEE, April 2007
- [2] Yakup Bayram, "High Power EMI on Digital Circuits within Automotive Structures", IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, August 2006
- [3] P. Andersen, "The present status of the international automotive EMC standards", IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility August 2009
- [4] Youn Hee Lee, Adel Nasiri, "Analysis and modeling of conductive EMI noise of power electronics converters in electric and hybrid electric vehicles," Twenty-Third Annual IEEE on Applied Power Electronics Conference and Exposition
- [5] Jody J. Nelson¹, William Goodwin, Mark Steffka, William Ivan, Markus Kopp, "High Voltage Automotive EMC Component Measurements Using an Artificial Network", 18th International Zurich

Symposium on Electromagnetic Compatibility, September 2007

- [6] Heinz Rebholz, Stefan Tenbohlen, "A fast radiated emission model for arbitrary cable harness configurations based on measurements and simulations", IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, August 2008
- [7] Allen Taflove, Susan Hagness, "Computational Electrodynamics: The Finite-Difference Time-Domain Method", Artech House, Boston, MA, 2000
- [8] Takuji Arima, Toru Uno, "Modification of FDTD Method for Highly Accurate Analysis of Microstrip Lines using Quasi-static Approximation", IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, July 2006
- [9] 자동차 및 불꽃점화 엔진구동 기기류 기술기준 및 시험방법 초안 (KN 41)

저 자 소 개

이 준 상 (李 準 相)

1985년 1월 4일생. 2010년 명지대 전자공학과 졸업. 2010년~현재 성균관대 정보통신공학부 석사과정
Tel : 031-290-7172
Fax : 031-296-4622
E-mail : sincereljs@gmail.com

김 종 민 (金 鍾 民)

1980년 7월 24일생. 2005년 동의대 정보통신공학과 졸업. 2008년 성균관대 정보통신공학부 졸업(석사). 2008년~현재 동대학원 정보통신공학부 박사과정
Tel : 031-290-7172
Fax : 031-296-4622
E-mail : bell2you@skku.edu

남 기 훈 (南 奇 勳)

1983년 1월 4일생. 2008년 동의대 정보통신공학과 졸업. 2010년 성균관대 정보통신공학부 졸업(석사)
Tel : 031-290-7172
Fax : 031-296-4622
E-mail : kihoon.nam@gmail.com

배 현 주 (裴玹珠)

1988년 1월 7일생. 2010년 인제대 전자지
능로봇공학과 졸업. 2010년~현재 성균관
대 정보통신공학부 석사과정

Tel : 031-290-7172

Fax : 031-296-4622

E-mail : guswntina@naver.com

성 진 태 (成珍泰)

1973년 1월 3일생. 2000년 수원대 전기공
학과 졸업. 2002년 성균관대 전자전기컴
퓨터공학과 졸업(석사). 2002년 한국철도
기술연구원 연구원. 2002년~2004년 (주)
이레테크 연구원. 2004년~현재 (주)유라
코퍼레이션 기술연구소 선임연구원

Tel : 070-7878-1179

Fax : 031-780-6807

E-mail : jtsung@yura.co.kr

나 완 수 (羅浣洙)

1962년 6월 14일생. 1984년 서울대 전기
공학과 졸업. 1986년 동 대학원 전기공학
과 졸업(석사). 1991년 동 대학원 전기공
학과졸업(박사). 1991년~1993년 SSCL
Guest Collaborator. 1993년~1995년 한국
전기연구원 선임연구원. 1995년~현재 성
균관대 정보통신공학부 교수

Tel : 031-290-7136

Fax : 031-296-4622

E-mail : wsnah@skku.edu