

유한요소법을 이용한 친환경 자동차용 고전압 커넥터 설계에 관한 연구

A Study on the Design of High-Voltage Connector for Green Car using FEM

김성웅^{1,✉}, 최정욱¹, 김형락¹, 권영석¹, 강남진¹, 최경석¹, 박형필^{2,3}, 차백순³
Sung Woong Kim^{1,✉}, Jung Wook Choi¹, Hyeung Rak Kim¹, Young Seok Kwon¹, Nam Jin Kang¹,
Kyung Seok Choi¹, Hyung Pil Park^{2,3} and Baeg Soon Cha³

1 케이유엠(주) 기술연구소 (R&D Center, KUM)

2 아주대학교 기계공학과 (Department of Mechanical Engineering, Ajou University)

3 한국생산기술연구원 금형성형연구부 (Molding & Forming Technology R&D Department, KITECH)

✉ Corresponding author : kimswo02@hanmail.net, Tel: 052-255-0375

Manuscript received: 2010.9.14 / Revised: 2011.2.28 / Accepted: 2011.3.14

The battery capacity of electric/hybrid vehicle is much larger than present automobile. For that reason, the connector of Green Car should be designed to transmit the high-electric voltage. In addition, the electromagnetic wave should be shielded to protect communication and signal circuits. In this study, shielding performance of the connector was analyzed through electromagnetic shield analysis, and a connector of Green Car was designed using thermo-electrical analysis, which is capable of transmitting the high-electric power. In the design of connector structure, the improved stability and workability was considered.

Key Words : FEM (유한요소법), High Voltage Connector (고전압커넥터), Shield Effectiveness (차폐효과), EMC (전자파적 합성), Absorbing Clamp Method (흡수클램프법), Permittivity (유전율), Voltage Drop (전압강하), Temperature Rising (온도상승), Allowable Current (허용전류)

기호설명

I = Incident waves
T = Transmitted waves
SE = Shielding effectiveness
dB = Decibel

1. 서론

최근 자동차분야에 있어서 지구환경 및 석유자원 고갈문제로 전기 자동차 등의 차세대 미래형자동차에 대한 관심이 커지고 있으며, 이는 선진각국의 배기가스 규제치를 단기간 내에 충족시키며,

경제 활성화를 유도할 수 있는 대안으로 평가받고 있다. 이는 미래형 자동차의 동력원을 화석연료가 아닌 전기를 사용하기 때문에 화석연료 의존성을 감소시킬 수 있기 때문이다. 따라서 각국에서는 미래 환경친화적 자동차에 대한 주도권 경쟁이 치열하게 전개되고 있으며, 혁신적인 원가절감 및 안전성 확보 기술 개발을 위한 연구개발 및 투자가 활발히 진행되고 있다.

일반적으로 미래형 자동차는 고전압 및 대전류(400V/150A 이상)를 이용한 대형 모터의 구동 시스템으로 구성되기 때문에 각각의 시스템을 연결하는 커넥터 개발이 활발히 진행되고 있다. 이는 기존의 직류 전원용 커넥터를 사용할 수 없기 때문

이며, 특히 주변 전자기기의 정상 작동을 방해하는 노이즈를 막기 위한 전자파 차폐수단을 필수적으로 요구하고 있다. 따라서 미래형 자동차 커넥터는 전자파 차폐수단으로 원재료, 차폐용 합체의 최적설계, 도금방식 및 복합소재 적용 등 다양한 부분에서 연구가 진행되고 있지만, 실제 산업 제품의 차폐성능에 대한 시험은 고가의 시험장비, 높은 시험의뢰 비용, 시험장비 보유 및 운영 기관의 최소성, 제품 특성에 맞는 시험방법 적용 등의 어려움을 겪고 있는 실정이다. 또한 전자파 차폐 실험은 커넥터와 같이 기하학적인 구조를 가지는 부품의 경우, 균일한 구조를 갖는 전선에서 적용한 흡수 클램프 방식과 동일한 테스트 환경을 이용할 경우, 커넥터의 구조 중 차폐가 필요한 정확한 부분을 찾기가 어렵다.

본 연구에서는 다양한 부하조건과 구조에 대한 차폐성능을 용이하게 분석하기 위해 유한요소해석을 이용하여 차폐성능을 분석하였으며, 전선의 차폐성능과 고전압커넥터의 차폐성능을 비교 분석하였다. 이를 위해서 케이블의 차폐시험은 한국산업기술시험원(KTL) 전자파 평가센터에서 흡수클램프법 기반으로 제작된 장비를 이용하여 차폐성능을 분석하였으며, 전자기장 해석 프로그램인 HFSS™와 비선형 구조해석 프로그램인 MSC.MARC™를 사용하여 전자기, 구조 및 열-전기 해석을 통하여 친환경 자동차용 고전압 대전류 커넥터를 설계하였다.

2. 대상 제품 개요

본 연구에서 사용한 제품은 국내 하이브리드 자동차(HEV) 엔진 룸 내의 배터리에서 인버터로 전력공급을 연결하는 65A 고전압용 커넥터로 선정하였으며, 시험은 암수(Male / Female)측 간의 체결상태로 시험을 진행하였다. Fig. 1 에 인버터와 커넥터의 체결상태를 나타내었고, Fig. 2 는 생산 적용 중인 고전압 커넥터를 각각 나타내었다.

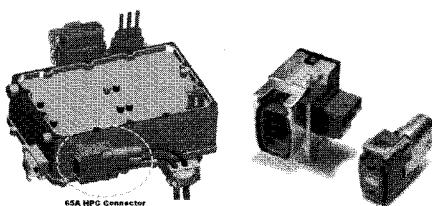


Fig. 1 Inverter and high voltage connector for studying

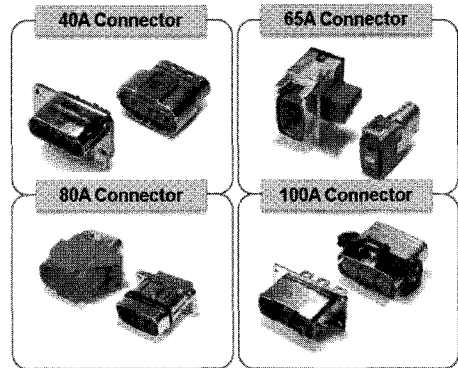
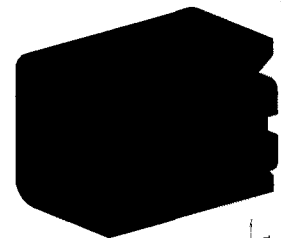
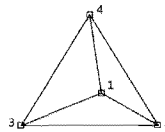


Fig. 2 High voltage connectors for HEV/EV car

3. 유한요소 해석을 이용한 커넥터 설계

3.1 유한요소 해석 모델 및 물성치

자동차용 커넥터의 일반적 구성은 작고 복잡한 부품을 다수 포함하고 있기 때문에, 해석신뢰도가 높은 8 절점 육면체 요소(Three-dimensional Arbitrarily Distorted Brick)보다는 4 절점 사면체 요소(Three-dimensional Four-node Tetrahedron)를 일반적으로 적용하고 있다.¹



(a) 4Node-Tetrahedron (b) Mesh generation

Fig. 3 The mesh generation for finite element method

Table 1 Material properties for FE analysis

Item	Unit	PBT	Cu-Alloy	Metal
Elasticity modulus	MPa	4,700	1.13 E5	2.12E5
Poisson's ratio	-	0.46	0.34	0.3
Coefficient of thermal expansion	1/K	6.7E-5	1.82E-5	1.66 E-5
Thermal conductivity	W/m · K	0.26	62	23.8
Electricity resistivity	μohm-cm	10E6	2.09	72
Specific heat	J/kg℃	1,712	380	500
Mass density	kg/m ³	1.5E3	8.9E3	8.03E3
Tensile strength	MPa	83	672	1030
Flexural strength	MPa	118	360	896
Permittivity	-	3.2	-	-

Fig. 3 에는 사면체 요소를 이용한 고전압 커넥터 유한요소모델을 나타내었으며, Table 1 은 유한요소 해석을 위한 커넥터 재료별 물리적/기계적/전기적/열적 물성치를 나타내고 있다.

3.2 고전압 커넥터의 차폐 해석

고전압 커넥터는 통전되는 전압 및 전류가 일반 커넥터에 비하여 높기 때문에 그 만큼 방사되는 전자파도 많이 발생된다. 전자파는 주변기기에 노이즈로서 직접적인 영향을 미치기 때문에 고전압 커넥터의 전자파 차폐는 반드시 필요하다.

본 절에서는 해석을 통하여 고전압 커넥터의 전자파 차폐특성을 분석하였으며, 실제 작동조건을 부여하여 해석의 신뢰도를 높이도록 하였다.

3.2.1 전자파 차폐 효과

전자파 차폐는 입사해 온 전자에너지를 반사해서 투과되지 않도록 하는 것으로서, 차폐재료의 성능 평가는 전달 임피던스(Z_r)나 차폐효과를 측정한다.

$$Z_r = (V / I) / l [\Omega / m] \quad (1)$$

여기서,

Z_r : 전달 임피던스, V :전압, I :전류, l :재료 두께

차폐효과, SE 는 차폐체가 없을 때 전자계와 있을 때 전자계의 비율로 식(2)와 같이 정의된다.

$$SE = 20 \log(E_0 / E) = V_0 - V [dB] \quad (2)$$

여기서 E_0 및 V_0 는 차폐하지 않을 때의 전자계로서 전계강도 및 노이즈 레벨(dB, decibel)이고, E 및 V 는 차폐하였을 때의 전계강도 및 노이즈 레벨이다.

Fig. 4 는 전자파가 차폐재료에 입사할 때의 감쇠 기구를 표시한 것이다. 그림에서 전파의 입사량, I 는 식(3)과 같이 된다.

$$I = R_1 + D + R_2 + T [dB] \quad (3)$$

여기서, R_1 은 차폐재료표면(A/M : air/material)에서의 1 차 반사량이고, D 는 재료내부에서의 감소량, R_2

는 차폐재료의 반대면(M/A)에서의 2 차 반사량이며, T 는 차폐재료를 투과한 투과량이다.

차폐효과(SE)는 입사량 (I : incident waves)과 투과량(T : transmitted waves)의 차이로서 다음의 식(4)와 같다.

$$SE = R_1 + D + R_2 = I - T = V_0 - V [dB] \quad (4)$$

한편, 일반적으로 전파(Radio wave : 9 kHz~ 3 THz)의 차폐효과에 대한 판정은 CISPR (international special committee on radio interfere)의 권고에 따라 10kHz 로부터 1GHz 의 주파수대역에 있어서 차폐효과가 0~10dB 의 경우 차폐효과 무시, 10~ 30dB 의 경우 최소효과, 30~60dB 의 경우 표준, 60~ 90dB 의 경우 양호, 90dB 이상의 경우 우수로 정의하고 있다.²

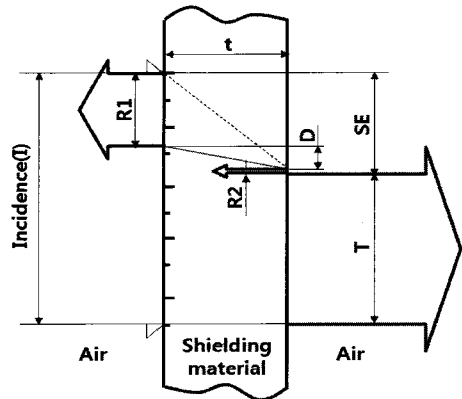


Fig. 4 Damping mechanism of electromagnetic wave in the shielding materials

3.2.2 전자파 차폐 해석 조건

전자파 차폐성능 해석을 위한 차폐해석 조건은 Fig. 5 와 같이 급전을 설정하며, 그 순서는 다음과 같다.

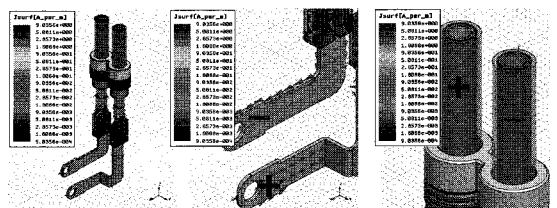


Fig. 5 Electrical loading condition on the terminals

- a) 전원급전을 위해 동축 전선과 단자 끝 단에 입력 단자대를 설정한다.
- b) 해석을 위한 유한요소모델은 Tangential Vector Finite Elements 를 사용한다.
- c) 해석과정 중 주요 결과 발생부는 최적화 유한요소생성 방법을 통해 신뢰도를 향상 시켰다 (Element No: 1,165,000 EA).
- d) 가진 주파수와 방사 노이즈와의 관계를 분석 하기 위한 주파수 대역은 최대 1GHz 까지 한다.

3.2.3 고전압 커넥터의 차폐 해석 결과

고전압 커넥터의 차폐성능검증은 유한요소해석을 통해 진행하였고, 흡수클램프법과 유사한 방법으로 결과를 분석하였으며, 그 결과를 Table 2 에 나타내었다. 저주파 대역에서의 커넥터 차폐성능은 55dB 이상으로 나타났으며, 고주파 대역인 70~108MHz 에서는 37~44dB 범위의 차폐성능을 나타내었다. Fig. 6 은 커넥터와 케이블의 주파수에 따른 전자파 차폐효과에 대한 해석 결과를 나타내고 있다. 주파수가 높아질수록 차폐성능이 낮아지는 결과를 보이고 있음을 알 수 있다.

Table 2 Shielding effectiveness result for shield connector as a frequency range

Connector	Measurement Frequency	Shielding Effectiveness	
		Min (dB)	Max (dB)
FE ANALYSIS	510~1,710 kHz	-	Min. 55
	70~108 MHz	37	44

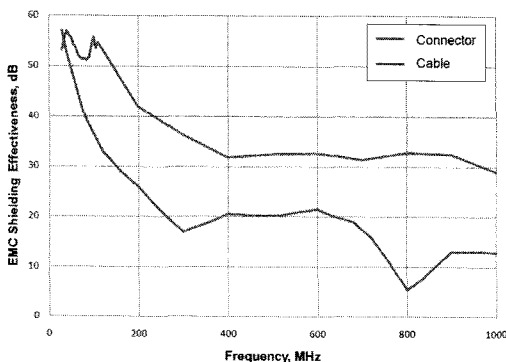
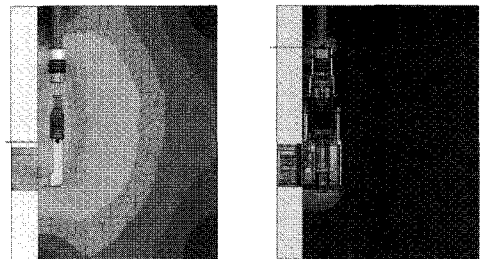


Fig. 6 EMC shielding performance comparison between connector and cable

3.2.4 고전압 커넥터의 차폐구조 영향

차폐구조의 유무에 따른 전자파 차폐성능을 분

석하였으며, Fig. 7 에 해석 결과를 나타내었다. 본 해석은 30MHz 주파수에서 차폐구조의 유무에 따른 성능을 분석한 것으로서, 차폐구조의 성능해석 결과는 약 57dB 정도의 성능을 나타내었다.



(a) Open structure (b) Shield structure

Fig. 7 EMC shield performance comparison at 30MHz

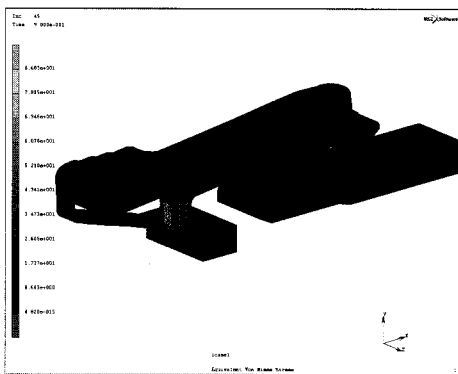
3.3 고전압 커넥터의 구조 해석

커넥터 요구성능에 대한 구조적인 분석을 위해서 국내 자동차 관련 규격 중 일반 커넥터 및 고전압 커넥터의 요구성능(ES91500-00, ES91500-20)을 기준으로 구조해석을 수행하였다.³

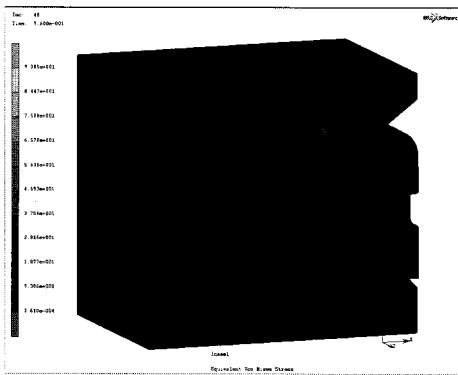
해석조건은 실제 고전압 커넥터의 시험방법과 동일하게 부여하여 진행하였다. 또한 상기 SPEC 에서 규정하지 않은 구조 및 성능들에 대해서도 구조안정성 확보를 위해서 항복강도 이하의 응력 분포가 나타나는 안전한 구조를 기준 하였으며, 체결안정성 및 작업성에 기초한 요구성능을 만족 하도록 최적화하였다. Fig. 8 및 Table 3 에는 커넥터 간의 체결력/유지력, 커넥터 체결 해제력, 강제 압입단자의 하우징 체결력 및 유지력, 후방으로의 단자 빠짐 방지 역할을 하는 홀더의 체결력/유지력, 전원단자간의 접속 전에 미소전류를 통전시켜 전원단자 간의 고전압으로 인한 스파크 발생을 방지하는 인터락 시스템 단자의 삽입력/유지력 등을 분석한 결과를 나타내었다.

해석을 통하여, 요구성능을 미치지 못하거나, 성능은 만족하나 작업성이나 구조안정성이 낮은 사항은 주요 설계 파라미터를 조정함으로써 개선 할 수 있었다. 커넥터 삽입력의 경우 최대 98N 이하의 성능이 나타나야 하는데, 초기 성능이 해석 결과 110N 으로 나타나, 실제 작업자의 작업성능 저하가 우려된다. 이에 하우징간의 삽입력을 저감 하기 위한 하우징의 체결 돌기부의 높이를 조정하고, 내부 전원단자의 접속 탄성부재의 접속 간섭량을 낮추어, 전체 커넥터 삽입력을 저감시키도록 하였다. 그 결과 접속성능유지를 위한 접압력 성

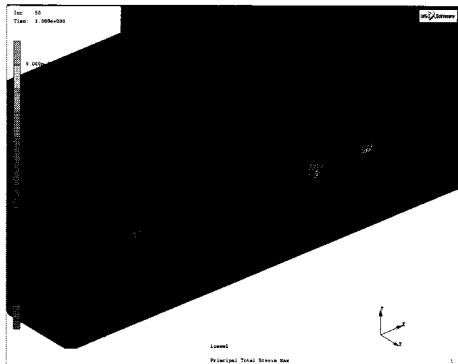
능은 만족시키면서, 110N 에서 88N 으로 삽입력을 저감시켜 작업자의 작업성능을 만족하도록 하였다. 대신 하우징 돌기부의 높이를 낮춤으로 인해 커넥터의 유지력은 327N 에서 199N 으로 낮아졌으나, 커넥터 유지력에 대한 요구성능인 98N 보다 약 2 배 정도의 안정성을 확보하고 있어, 안전하다고 판단할 수 있다. 이외 항목에 대해서도 동일한 방법으로 주요 파라미터의 성능개선을 위한 설계 최적화 해석을 수행하였다.



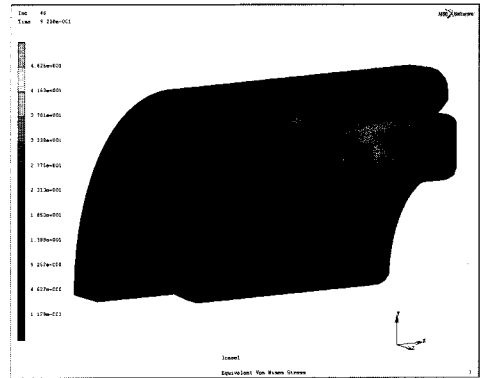
(a) Lock Release



(b) Interlock sys. Jointing



(c) TML Insertion Force



(d) Rear Holder Insert Force

Fig. 8 Verification of structural performance for high voltage connector by FEM

Table 3 The comparison of performance between SPEC & structural analysis results (unit : N)

Item	Performance		Design Modification
	SPEC	FE Analysis	
Connector Jointing Force	Max. 98	88	110→88
Connector Retention Force	Min. 98	199	328→199
Lock Release Force	Max. 59	32	100→32
TML Insertion Force	Max. 196	86	599→86
TML Retention Force	Min. 196	531	1423→531
Rear Holder Insertion Force	Max. 49	48	23→48
	Min. 78	89	50→89
Interlock System Insertion Force	Max. 49	24	9.8→24
Interlock System Retention Force	Min. 78	93	50→93

3.4 고전압 커넥터의 전기·열 해석

자동차용 커넥터 전기·열 해석은 통전전류에 따른 열 발생에 대한 해석으로서, 줄열에 대한 구조·열·전기에 대한 연성해석으로서 수행되었다. 실제 단자와 케이블이 서로 연결되어 있고 케이블에 부하(전류 및 전압)가 인가되면, 단자 내부저항에 의한 열이 발생된다. 따라서 인가되는 통전전류가 증가함에 따라 발생하는 열의 증가 경향을 분석하고, 기본 통전전류(63.5A) 인가 시 발생하는 열에 의한 열 평형 온도를 구하여, 요구성능 부합여부를 판단하였다. 여기서 실 부하에 대한 온도상승

현상과 전압강하에 대한 해석을 수행하였다.

기존 구조해석에 의해 최적화된 블레이드 형식 단자 구조와 원재료가 적용된 조건으로 해석한 결과, 전압강하는 0.12mV/A, 커넥터의 실제 전류 부하인 65A 통전 시의 온도상승은 $\Delta 27.5^{\circ}\text{C}$ 의 결과를 얻을 수 있었다. 전압강하에 대한 요구성능은 3mV/A 이하, 온도상승에 대한 요구성능은 $\Delta 60^{\circ}\text{C}$ 이하임을 감안할 때, 전원단자의 전기-열적 특성도 안전하다고 판단할 수 있다. 그 결과를 Fig. 9 와 Table 4 에 나타내었다.

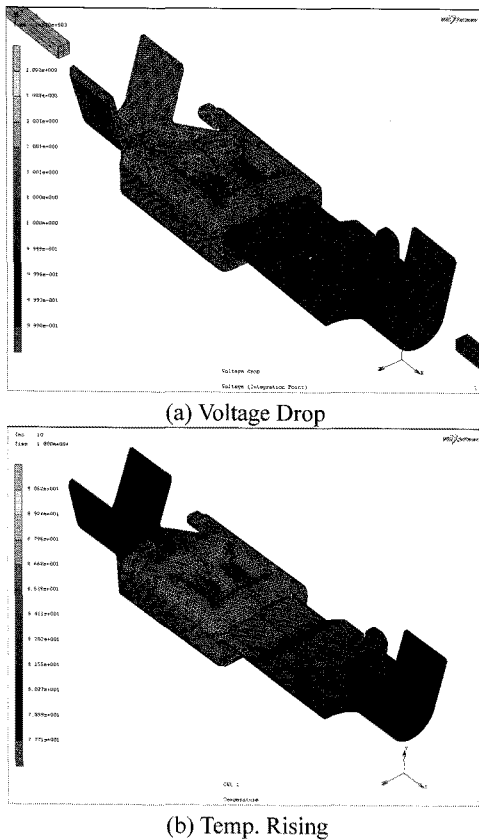


Fig. 9 Verification of electric-thermal performance for high voltage connector by FEM

Table 4 The comparison of performance between SPEC & electric-thermal analysis results

Item	Unit	Performance	
		SPEC	FE Analysis
Voltage Drop	mV/A	Max. 3	0.12
Temp. Rising	$\Delta^{\circ}\text{C}$	Max. 60	27.5

4. 전자파 차폐실험 및 고찰

4.1 전자파 차폐 성능 시험

차폐 성능 시험은 흡수클램프법을 이용하였으며, Fig. 10 에 나타내고 있다.

흡수클램프법은 시험 제품 전선으로부터의 전류 누락을 각 주파수대역마다의 최고값을 측정하여 차폐 전선에서의 측정치와 기준 전선의 측정치 차이로 차폐효과를 평가한다. 고전압 커넥터에 연결된 전선의 길이를 약 1m 로 하며, 측정주파수는 Table 5 에 나타낸 기준에 따라 수행하였다.

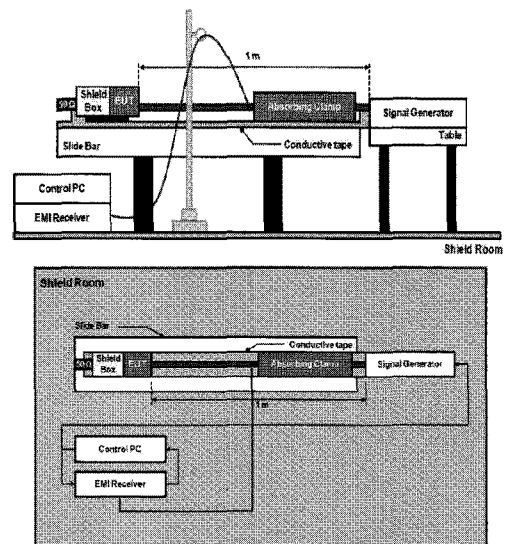


Fig. 10 Schematic of the electromagnetic shielding effectiveness test by the absorbing clamp method

Table 5 Test frequency and the request performance as the ES SPEC

Item	Frequency Range	Performance
Shielding Effectiveness	510 ~ 1,710 kHz	Min. 40dB
	70 ~ 108 MHz	Min. 30dB

전자파 차폐 성능 시험 순서는 다음과 같다.

a) 기준(비차폐) 전선을 갖는 고전압커넥터를 Fig. 10 과 같이 설치한다.

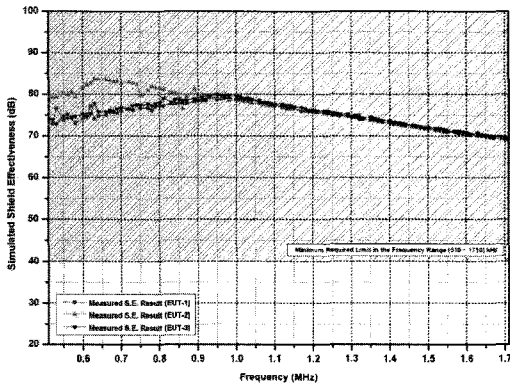
b) 설치 후, 제어용 컴퓨터를 통해 신호생성기와 EMI 수신기를 제어하여, 510~1,710kHz 대역과 70~108MHz 대역을 주파수 스위프로 각각 최고치 값을 측정한다.

c) 흡수클램프의 위치는 전선의 길이를 이동하며 b)의 과정을 반복 수행한다.

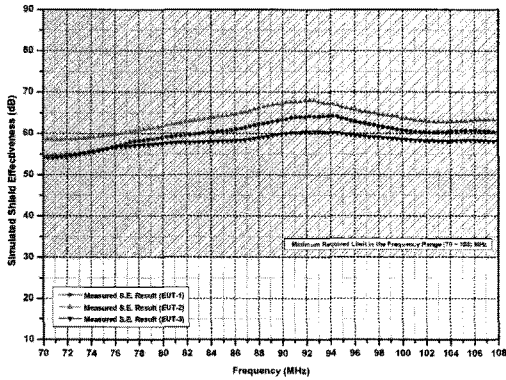
d) 차폐 전선은 (b)와 (c)과정을 통해 최고치 값을 측정한다. 이때, 차폐전선은 전도성 테이프를 제거한 후, 설치한다.

e) 측정된 기준전선 및 차폐전선의 결과 값에서 주파수 별 차폐효과 값을 계산한다.

고전압 커넥터 케이블의 차폐성능 검증을 위한 흡수클램프법 시험에 대한 결과를 Fig. 11 에 나타내었다.



(a) Frequency range : 510~1,710 kHz



(b) Frequency range : 70~108 MHz

Fig. 11 Shielding effectiveness result for shield cable as a frequency range

저주파대역에서의 시험결과는 69~83dB 으로 나타났으며, 고주파대역에서의 시험결과는 54~68 dB 로 나타나 저주파 대역 보다 고주파 대역에서의 차폐성능이 낮은 것으로 나타났다.

커넥터와 전선간의 차폐성능은 저주파 및 고주파 대역에서 10~15dB 정도의 차이를 보이고 있다. 그 이유는 균일한 편조체 구조와 단면을 가지는

전선에 비해, 상호간의 체결 및 단자간의 접촉 등의 다양한 기능을 충족시켜야 하는 커넥터의 특수성으로 인해 노이즈 차폐구조형성의 한계가 발생되고, 이 때문에 커넥터의 차폐성능이 전선에 비해 상대적으로 낮은 결과를 나타내게 된다.

다만, Fig. 6 에서 알 수 있듯이, 전선과 커넥터 모두 주파수가 높아질수록 차폐성능이 낮아지는 경향을 보였다.

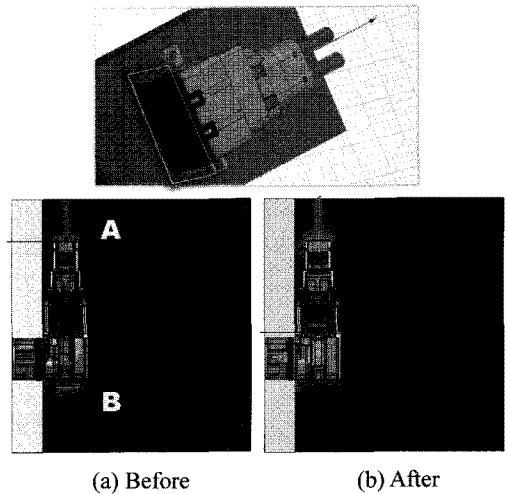


Fig. 12 EMC shield performance comparison at connector cover's EMI paints spread

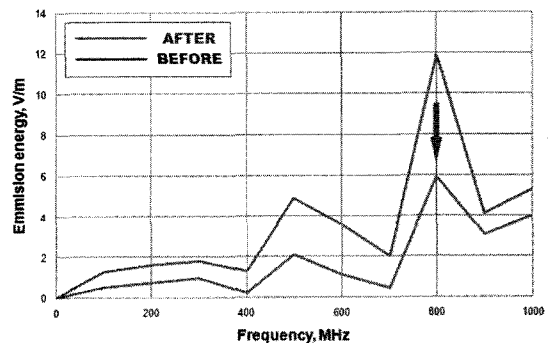


Fig. 13 Emission energy change as frequency

4.2 고전압 커넥터의 차폐 성능 개선

커넥터의 차폐 구조에 있어, 그 구조가 대부분의 전자파를 차폐하고 있지만, 전선이 단자와 연결되고, 방수성능을 위해 고무소재의 방수 부재가 있는 A 부분과 Male 측 인서트 부품간의 조립을 위한 플라스틱 소재의 커버가 장착되는 B 부분은 금속재의 차폐수단이 적용되지 못하여 전자파가

차단되지 못하는 한계가 있다(Fig. 12(a) 참조). 이를 개선하기 위한 방법으로는 금속섬유가 함유된 고분자 재료 적용, 고분자재료 표면에 EMI 도료 도포를 하는 두 가지 방법이 있다.

본 연구에서는 플라스틱 커버에 두 번째 방법인 EMI 도료를 도포하는 것에 대한 효과를 분석하였으며, 그 결과를 Fig. 12 와 Fig. 13 에 나타내었다.

플라스틱 소재 커버 부품에 EMI 도료 도포한 조건에 대한 해석 결과는 도포 전·후의 차폐성능이 최대 10dB 정도 향상되는 것으로 나타났으며, EMI 도료를 도포하는 것이 차폐성능 개선에 효과적임을 알 수 있었다.

5. 결론

본 연구에서 고전압 커넥터 설계를 위한 유한요소해석을 수행하여, 이를 제품의 요구성능에 대한 시험결과와 비교 분석하였으며, 이를 통하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1) 차폐해석을 통한 고전압커넥터의 차폐구조 검토에 있어, 부하 전력 및 주파수 증가에 따른 전자파 노이즈 양이 증가됨을 알 수 있었다.

2) 전선과 커넥터의 차폐성능 비교에 있어서, 균일한 편조체가 구성되는 전선이, 구조적 제약이 있는 커넥터에 비해 차폐성능이 우수한 것을 알 수 있었다. 단, 규정된 주파수 대역에서의 차폐성능은 케이블 및 커넥터 모두 요구성능을 만족하는 결과를 보였다.

3) 흡수클램프법에 의한 성능평가는 전선과 같은 가늘고 긴, 둥근 제품에 한하여 시험 진행이 가능하지만, 커넥터와 같은 큰 제품의 경우는 시험이 불가능하였다. 하지만 차폐해석을 이용하여 비교적 형상이 큰 고전압커넥터의 흡수클램프법을 적용한 성능평가도 가능하였고, 전선과의 성능 비교 평가도 가능하였다.

4) 전압강하 및 온도상승에 대한 전기·열 해석을 수행함으로써, 고전압커넥터의 실 부하(65A)시의 전기적 저항에 의해 발생 온도를 분석할 수 있었다. 또한 통전 시 열 발생을 최소화하기 위해, TML 단면 전체로 전류가 흐르도록 구조를 최적화하여 국부적인 전류 밀도 집중을 방지하였다.

5) 복잡한 구조 및 부품을 가지는 고전압커넥터의 최적설계를 위해 비선형 구조 접촉해석을 수행하여, 체결 안정성 및 작업성을 향상시킬 수 있었다.

후 기

본 연구는 지경부의 지역산업선도기술개발과제의 연구비 지원(70004241)에 의해 수행된 연구 결과이며, 이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. MSC.Software, "MSC.Marc Manual," 2001.
2. Oh, T. S., "Polymeric Composite Material for Shielding of Electromagnetic Interference," Polymer Science and Technology, Vol. 2, No. 3, pp. 179-190, 1991.
3. HMC/KMC, "ES SPEC : High Voltage Connector General," 2008.
4. Pachner, V., Roy, L. and Costache, G., "EMI measurement of small systems using an absorbing clamp," IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, Vol. 1, pp. 146-150, 1997.
5. Jung, K. B. and Jung, Y. C., "Design technology of cavity-backed Aperture considering the Electromagnetic Compatibility," Korea Electromagnetic Engineering Society, Vol. 15, No. 2, pp. 124-131, 2004.
6. Kim, S. W., Choi, J. W., Kim, H. L., Kang, N. J., Choi, K. S., Park, H. P. and Cha, B. S., "A Study of Safety Evaluation for Automotive High-Voltage Connector," Proc. of KSPE Spring Conference, pp. 1261-1262, 2010.
7. Kim, H. L., Choi, J. W., Kim, S. W., Kang, N. J., Choi, K. S., Park, H. P. and Cha, B. S., "A Study of electro-magnetic shield effectiveness for Automotive High Voltage Connector," Proc. of KSPE Spring Conference, pp. 1263-1264, 2010.
8. Lee, S. Y. and Choi, J. H., "Numerical analysis electromagnetic characteristic of high voltage/current cable for fuel cell electric vehicle(FCEV)," Trans. of the Korean Hydrogen and New Energy Society, Vol. 21, No. 3, pp. 149-157, 2010.