

자동차용 고전압 커넥터의 전자기 차폐효과에 관한 연구 A Study of electro-magnetic shield effectiveness for Automotive High Voltage Connector

*김형락¹, #최정욱¹, 김성웅¹, 강남진¹, 최경석¹, 박형필², 차백순²
* H. L. Kim¹, #J. W. Choi(jwchoi@ikum.kr)¹, S. W. Kim¹, N.J.Kang¹, K.S.Choi¹, H.P.Park², B.S.Cha²
¹ 케이유엠(주), ² 한국생산기술연구원

Key words : FEM(유한요소법), EMC(전자과적합성), Connector(커넥터), Electro-magnetic(전자기), Permittivity(유전율), Shielding effectiveness(차폐효과), Absorbing clamp method(흡수클램프법)

1. 서론

최근 자동차분야에 있어서 지구환경 및 석유자원 고갈 문제로 전기 자동차 등의 차세대 미래형 자동차에 대한 관심이 커지고 있으며, 이는 선진 각국의 배기가스 규제치를 단기간 내에 충족시키며, 경제 활성화를 유도할 수 있는 대안으로 평가 받고 있다.

이 미래형 자동차들은 동력원이 화석연료가 아닌 전기를 사용하기 때문에 화석연료 의존성을 감소시킬 수 있는 장점을 가지고 있음에 따라 각국에서는 미래 환경친화적 자동차에 대한 주도권 경쟁이 치열하게 전개되고 있고, 혁신적인 원가절감 및 안전성 확보 기술 개발을 위한 연구개발 및 투자가 활발히 진행되고 있다. 하지만 이들 미래형 자동차는 고전압 및 대전류(400V/150A 이상)를 이용한 대형 모터의 구동 시스템으로 구성되어 있어서 기존의 커넥터로 적용할 수 없는 문제, 즉 주변 전자기기들의 정상 작동을 방해하는 노이즈를 막기 위한 전자파 차폐수단을 특별히 요구하고 있다.

전자파 차폐수단으로서 적용 원재료 부문, 차폐용 합체의 최적설계, 도금방식 및 복합소재 적용 등 다양한 부분에서 연구가 진행되고 있지만, 실제 산업제품의 차폐성능에 대한 시험에 있어서 고가의 시험장비, 높은 시험의뢰비용, 시험장비 보유 및 운영 기관의 희소성, 제품 특성에 맞는 시험방법 적용 어려움 등을 겪고 있는 실정이다.

이에 본 연구에서는 다양한 부하조건과 구조에 대한 차폐성능을 용이하게 분석하기 위해 유한요소해석 프로그램을 이용하여 차폐성능을 분석한 결과를 나타내었으며, 또한 최적화 구조에 대한 개발 제품의 차폐시험을 진행함으로써 커넥터 차폐해석 신뢰도에 대한 검증을 수행하였다.

차폐시험은 한국산업기술시험원(KTL) 전자과평가센터에서 흡수클램프법 기반으로 제작된 장비를 이용하여 실시하였고, 차폐해석은 전자기장 해석 프로그램인 Microwave Studio 를 사용하였다.

2. 전자파 차폐효과

전자파 차폐는 입사해 온 전자에너지를 반사해서 투과되지 않도록 하는 것으로서, 차폐재료의 성능평가는 전달 임피던스(Impedance)나 차폐효과(Shielding effectiveness)를 측정한다.

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

차폐효과, SE 는 차폐체가 없을 때의 전자계와 있을 때의 전자계의 비(比)로서 식(2)와 같이 정의 된다.

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

여기서 E₀ 및 V₀ 는 차폐하지 않을 때의 전자계로서 전계강도 및 노이즈 레벨(dB, decibel)이고, E 및 V 는 차폐하였을 때의 전계강도 및 노이즈 레벨이다.

Fig.1 은 전파가 차폐재료에 입사할 때의 감쇠기구를 표시한 것이다. 그림에서 전파의 입사량, I 는 식(3)과 같이 된다.⁽¹⁾

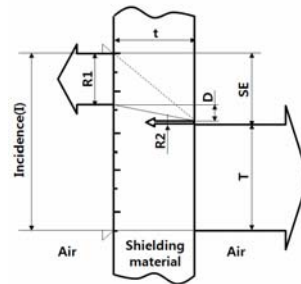


Fig.1 Damping mechanism of electromagnetic wave in the shielding materials.

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

여기서 R₁ 은 차폐재료표면(A/M : air/material)에서의 1 차 반사량이고, D 는 재료내부에서의 감소량, R₂ 는 차폐재료의 반대면(M/A)에서의 2 차 반사량이며, T 는 차폐재료를 투과한 투과량이다. 그리고 차폐효과(SE)는 입사량(I:incident waves)과 투과량(T:transmitted waves)의 차(差)므로 다음의 식(4)와 같다.

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

한편, 일반적으로 전파(Radio wave : 9kHz~3THz)의 차폐효과에 대한 판정은 CISPR(international special committee on radio interfere)의 권고에 따라 10kHz 로부터 1GHz 의 주파수 대역에 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 우수라고 정의하고 있다.

3. 실험장치 및 실험방법

3.1 시험 시료

본 실험에서 사용한 제품은 고전압용 커넥터로 선정하였으며, 그 크기는 (W)135.2 mm×(H)68.0 mm×(L)144.6 mm 이고, Male / Female 측 간의 체결상태로 시험을 진행한다. Fig.2 에 커넥터간 체결상태를 나타내었다.



Fig.2 The manufactured high voltage connector assembly

3.2 시험 방법

본 차폐 시험은 Fig.3 과 같이 흡수클램프법을 이용하여, 시험 제품 전선으로부터의 전류 누락을 주파수대마다 최저치 값을 측정한다.

차폐효과는 실드(Shield) 전선에서의 측정치와 기준

(Unshield)전선의 측정치와의 차이로 한다. 평가 시 고전압 커넥터에 연결된 전선의 길이는 대략 1m 로 하며, 측정주파수는 Table 1 에 나타낸 기준에 따라 수행한다.

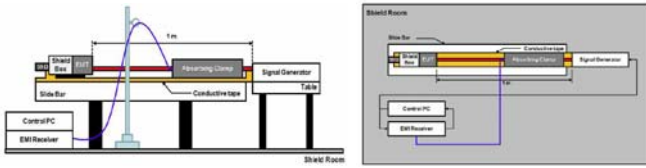


Fig.3 Schematic of the electromagnetic shielding effectiveness test by Absorbing clamp method

Table 1 Testing frequency and performance

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

3.3 시험 순서

- 아래와 같은 순서로 시험을 진행하도록 한다.
- a) 기준(Unshield) 전선을 갖는 고전압커넥터를 Fig. 3 과 같이 설치한다.
- b) 설치 후, 제어용 PC 를 통해 신호생성기와 EMI 수신기를 제어하여, (510~1,710)kHz 대역과 (70~108)MHz 대역을 주파수 스위프로 각각 최고치 값을 측정한다.
- c) 흡수클램프의 위치는 전선의 길이를 이동하며, (2)의 과정을 반복 수행한다.
- d) 쉴드(Shield) 전선은 (2)와 (3)과정을 통해 최고치 값을 측정한다. 이때, 쉴드 전선은 전도성 테이프를 제거 후, 설치한다.
- e) 측정된 기준(Unshield)전선 및 쉴드(Shield)전선의 결과값에서 주파수별 차폐효과 값을 계산한다.

3.4 차폐 해석

- 커넥터의 차폐해석조건은 다음과 같이 적용하였다.
- a) X(-X), Y(-Y), Z(-Z) 축의 외부에 평면파를 시험품(고전압 커넥터)에 입사시킴.
- b) 각 해당 축에서 전파해 갈 때, E-field 방향성분을 구분.
- c) X 축 전파 시 E-field 방향은 Y 축, Z 축 방향으로 구성 (Fig.4).
- d) 고전압 커넥터 내부 중심 컨덕터 위치에 전계 프로브를 배치하여 투과되는 양을 측정함.
- e) 입사량 및 투과량을 통한 주파수별 차폐효과 산출.
- f) 재료의 특성 정보(Table 2)를 포함함. 단, 커넥터에 연결되는 케이블의 영향은 고려하지 않음.

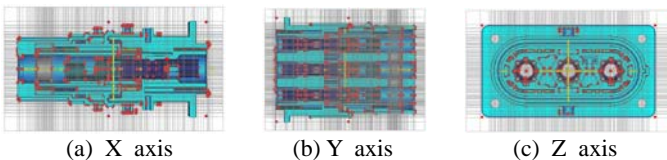


Fig.4 Mesh generation of the X/Y/Z directions for the high-voltage connector

Table 2 Material properties for shielding effectiveness analysis

Item	Unit	PBT	Cu-Alloy	Sheet metal
Mass density	g/cc	1.50	8.9	8.03
Electricity resistivity	μ ohm-cm	-	2.09	72.0
Permittivity	-	3.2	-	-

4. 실험결과 및 고찰

고전압 커넥터의 차폐성능검증에 대해 저주파대역(510 ~ 1,710kHz)과 고주파대역(70~108MHz)에 대한 결과를 Table 3

에 나타내었다.

저주파대역에서 시험결과는 69~83dB 로 나타났으며, 해석결과는 53~68dB 의 결과를 얻을 수 있었다. 또한 고주파대역에서의 시험결과는 54~68dB, 해석결과에서는 53~68dB 로 나타남으로 인해 저주파대역에서 시험과 해석 결과와의 차이가 대략 10~15dB 수준으로 나타나고 있지만, 고주파대역에서는 거의 유사한 결과를 얻을 수 있었다.

시험 및 해석결과에서 보듯이 검토된 고전압커넥터의 차폐요구성능(저주파대역: 40dB 이상, 고주파대역: 30dB 이상)이 최소 50dB 이상의 차폐효과특성을 나타내고 있고, CISPR (International special committee on radio interfere)의 기준에서도 표준성능 이상의 기능을 가지고 있어, 차폐에 대한 안전향성능을 보유하고 있다고 판단할 수 있다.

Fig.5 에서는 E-Field 분포에 대한 해석결과를 나타내었다.

Table 3 Shielding effectiveness result as a frequency ranges

(a) The result in experiment				
ITEM	Measurement Frequency	Specimen	Shielding Effectiveness	
			Min (dB)	Max (dB)
EXPERIMENT	510 ~1,710 kHz	1	69.1	79.2
		2	69.4	83.7
		3	69.4	79.9
	70 ~108 MHz	1	54.4	64.2
		2	58.4	68.0
		3	54.0	60.4

(b) The result in FE Analysis				
ITEM	Measurement Frequency	Direction (Axis)	Shielding Effectiveness	
			Min (dB)	Max (dB)
FE ANALYSIS	510 ~1,710 kHz	X	53.1	53.1
		Y	68.2	68.2
		Z	68.3	68.3
	70 ~108 MHz	X	53.9	54.3
		Y	68.0	68.6
		Z	53.9	54.3

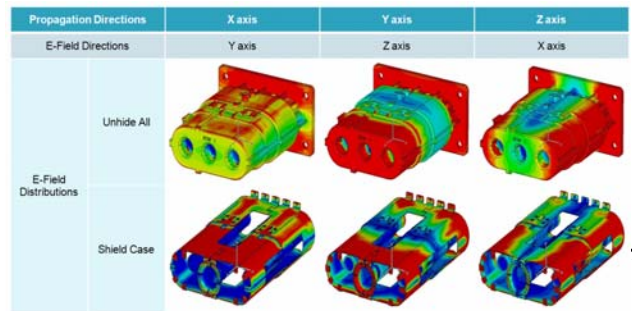


Fig. 5 Distribution of the E-Field for high voltage connector

5. 결론

고전압 부하에 의해 발생된 전자기장 방사 노이즈를 차폐하기 위한 Sheet metal 구조의 차폐효과가 모든 방향(X/Y/Z)에서 50~60dB 이상의 결과값을 나타내어 요구성능에 부합함을 알 수 있었고, 차폐효과 해석과 흡수클램프법으로의 시험결과도 서로 잘 부합되어, 고전압 커넥터로의 차폐효과해석 적용은 충분한 효과성이 있는 것으로 판단되었다.

후 기

본 연구는 2008 지역산업선도기술개발과제의 연구비 지원(70004241)에 의해 수행된 연구 결과 임.

참고문헌

1. Donald R.J. White and Michel Mardiguian, "Electromagnetic Shielding," EMC handbook, Vol.3, 1988
2. John R. Barnes, "Electronic System Design", Interference and Noise Control Techniques, 1987.