

고효율 자동차용 고전압 케이블의 차폐특성에 관한 연구

이봉이, 이상선, 윤승훈, 연복희, 박경훈
LS전선

A Study on Shielding characteristics of Cable used in High-efficiency Automobile

Bong-yi Lee, Sang-seon Lee, Seung-hoon Yoon, Kyung-hoon Park, Bok-hee Youn
LS Cable

Abstract - Because High efficiency electric vehicles use electrical energy by an power source, radiated noise at high voltage cable bring on problems at other electric/electronic components. But, in order to insure shielding effectiveness increasing braid density infinitely, it is possible that the cost is more than one third of cost of manufacturing cable. Accordingly in this paper, we studied design of cost-effective and light shield cable using dual shielding system of braid and al-foil.

1. 서 론

최근, ZEV(Zero Emission Vehicle)와 같은 환경 규제의 강화로 인해 고효율 자동차에 대한 관심이 높아지고 있으며, 특히 전기를 주 동력원으로 사용하는 HEV(Hybrid Electric Vehicle), FCEV(Fuel Cell Electric Vehicle)가 전 세계적으로 주목받고 있다. HEV, FCEV 등 고효율 자동차의 와이어 하네스는 12V 또는 42V의 저전압을 사용하는 기존의 자동차와는 달리 144~900V의 고전압을 동시에 사용한다. 또한, 모터 구동을 위해 인버터가 사용되면서 스위칭 써지 등 기존의 자동차와는 다른 전기적 특성을 지니게 되는데, 이 때 발생하는 문제점 중 하나로 지적되고 있는 것이 EMI(Electro-Magnetic Interference)이다. 고효율 자동차의 와이어링 하네스에는 EMI 방지를 위한 차폐케이블이 사용되고 있다. 하지만, 대부분의 자동차용 고전압 케이블 제조업체에서는 차폐 설계에 대한 기준이 명확하게 마련되지 않아 이에 대한 연구가 필요하다.

본 논문에서는 최적 편조 설계의 일환으로 저비용으로 차폐특성을 개선시킬 수 있는 편조구조 설계에 대하여 연구하였다.

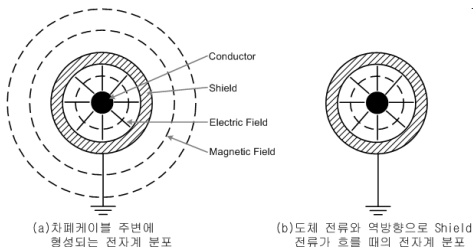
2. 본 론

2.1 케이블 차폐방법

케이블을 차폐하는 방법에는 Solid shield를 사용하는 방법과 braid shield를 사용하는 방법의 두 가지가 있다.

2.1.1 Solid shields

solid shield는 차폐재에 hole이 없기 때문에, 케이블 도체와 외부 간의 커플링 현상을 방지할 수 있다. 특히, 높은 주파수 영역에서, 효과적인 차폐가 가능한데, 이는, skin effect의 영향이 shield를 내부 표면과 내부 표면으로 나누고, 노이즈 전류가 외부 표면으로만 흘러, 노이즈 발생의 원인이 되는 케이블 간의 커플링 현상의 발생을 억제하기 때문이다.



〈그림 1〉 전자계 차폐 원리

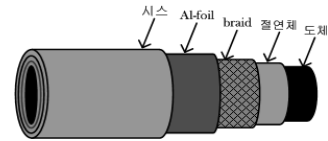
2.1.2 Braid shields

braid를 이용한 차폐는 solid type에 비해 유연성과 내구성, 강도 측면에서 좋으며, 특히 자동차용 하네싱 작업에서 매우 중요하게 요구되는 항목 중의 하나인 작업성이 뛰어나다. 따라서 선진사의 고전압 자동차용 케이블로 braid 방식의 차폐케이블이 널리 이용되고 있다. 하지만,

braid 차폐 케이블은 편조밀도는 최대 98[%] 이상으로 설정할 수 없으며, 차폐에 hole이 생길 수밖에 없는 구조로 되어 있어, 일반적으로 solid type에 비해 차폐효과가 5~30[dB] 떨어진다. 또한 braid에 shield 전류가 균일하게 흐르지 않기 때문에, <그림 1>의 (b)에서와 같이 braid 전류에 의해 감쇠되는 magnetic noise를 저감시키는데 있어, 효과적이지 않다[4].

2.1.3 이중차폐방식(solid and braid shield)

일정 편조 밀도 이상에서는 편조밀도는 높이는 것보다 solid shield 방식의 일환인 al-foil(aluminum-foil)을 braid와 함께 사용하는 것이 차폐효과를 높이는 데 효과적이다. al-foil은 주재료로 aluminum을 사용하기 때문에, 동을 주재료로 사용하는 braid에 비해 싼 값에 제작이 가능하다. 일례로 15sq shield 케이블의 경우 braid의 편조밀도를 10% 감소시키면, braid 제작에 소요되는 동이 15% 감소한다. 따라서, 낮은 편조밀도와 al-foil을 병행하여 사용하는 것이 편조밀도를 높일 때보다 비용 효과적이다.



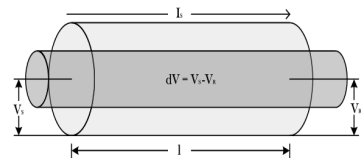
〈그림 2〉 이중차폐케이블

2.2 차폐효과 측정

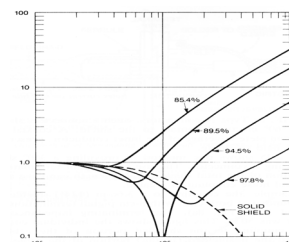
2.2.1 Surface transfer impedance

케이블의 차폐효과는 braid의 Z_T (surface transfer impedance)를 측정함으로써 구할 수 있다. 케이블의 도체전류는 도체를 타고 흐르면서 케이블 braid에 전압을 유기시키는데, braid에 흐르는 전류에 대한 유기전압의 비가 Z_T 이고, 식(1)과 같이 표현된다. <그림 3>은 케이블 braid에 유기된 전압 dV 에 의해 흐르는 shield전류와 Z_T 와의 관계를 나타낸다[5].

$$Z_T = \frac{1}{I_s} \left(\frac{dV}{dl} \right) [\Omega/m] \quad (1)$$



〈그림 3〉 Z_T 와 shield전류와의 관계

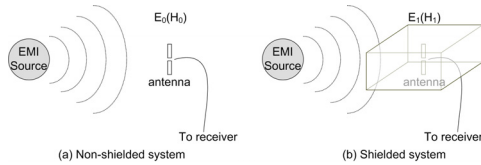


〈그림 4〉 일반적인 편조밀도 및 차폐유형에 따른 Z_T

<그림 4>는 편조밀도 및 차폐유형에 따른 Z_T 를 보여준다. Z_T 는 편조 밀도가 높을수록 감소하는 경향을 보이며, 특히 Solid shield의 경우 주파수가 높은 영역에서 매우 낮은 값을 갖는다. 따라서, braid shield에 비해 solid shield가 높은 주파수의 환경에서 사용시 차폐특성이 좋다.

2.2.2 차폐효과(shielding effectiveness)

차폐효과는 케이블 또는 차폐재료 등의 차폐되는 정도를 표현하기 위해 사용되며, <그림 5>의 (a)에서 방사되는 전자파량과 (b)에서의 전자파 방사량을 비교한 수치를 말한다. 식(2)는 차폐효과 계산식을 나타낸 것이다.



<그림 5> 차폐효과 개념도

$$SE = 20 \log \left(\frac{E_0}{E_1} \right) \quad (2)$$

Martin은 [3]에서 연산을 통해 SE를 구할 수 있도록 식(3)과 같이 계산식을 정의했다.

$$SE = 36 - 20 \log_{10}(l) - 20 \log_{10}(Z_T) \quad (3)$$

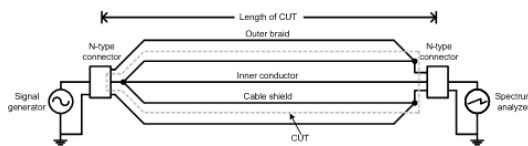
l : CUT(Cable Under Test)의 길이[m]

2.2.3 시험 방법

케이블의 차폐효과를 측정하는 방법은 triaxial method, line injection method, absorbing clamp method 등이 있으며, 이 중 triaxial method는 측정상 오차가 적고, 상용화된 시험 설비를 이용하기 때문에 널리 이용되고 있다[1]. 하지만, triaxial method를 이용해 차폐효과를 측정시 식(1)과 같이 CUT(Cable Under Test)의 길이에 따라 최대 측정 주파수가 제한되며[2], CUT의 길이가 너무 길게 되면, 결과의 정확도가 떨어지는 단점이 있다.

$$f_{max} = \frac{40}{L} [MHz] \quad (1)$$

본 논문에서는 triaxial method를 이용하여 케이블의 차폐효과를 시험하되, 0.3~40[MHz]에서는 1m의 CUT를, 40~100[MHz] 이하의 주파수에서는 0.2m의 CUT를 사용하여 시험하였다. <그림 6>은 triaxial method를 이용한 시험의 회로도이다.



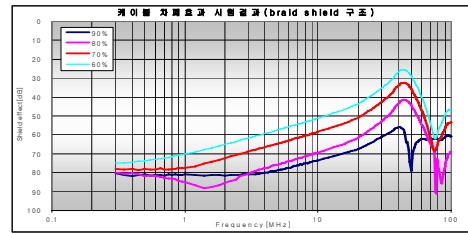
<그림 6> 시험 회로도

2.2.4 시험 결과

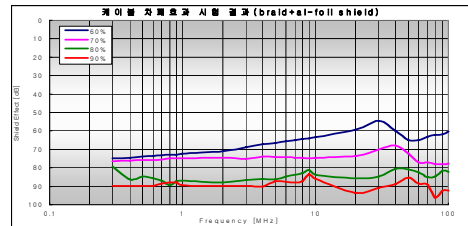
<그림 7,8>은 braid만으로 차폐한 경우와, braid와 al-foil을 이용해 이중 차폐한 두 가지의 시험결과이다. <그림 7,8>에서 케이블의 차폐효과는 편조밀도가 상승함에 따라 높아지는 것을 확인할 수 있다. 하지만, 자사의 고전압 케이블의 차폐효과 기준 스펙인 40dB를 만족하기 위해 braid 차폐 케이블은 80% 이상의 편조밀도를 갖는 케이블 제조가 필연적인 반면 braid에 al-foil을 함께 차폐설계에 이용한다면, 60%의 편조 밀도 만으로도 스펙을 만족시킨다. braid의 편조밀도는 케이블 제조 원가와 직결되는 요소로써 braid의 편조밀도를 10% 낮출 때, braid 제작에 필요한 동을 15% 절감할 수 있다. 따라서, 편조밀도를 80%에서 60%로 낮출 때 braid 원가의 30% 절감이 가능하다.

시험 결과는 또한 braid와 al-foil을 함께 이용한 이중 차폐가 높은 주파수에서 braid만을 이용한 케이블보다 효과적이라는 것을 보여준다. braid만을 이용한 케이블과 al-foil을 함께 이용한 케이블의 차폐효과는 1MHz 이하의 낮은 주파수에서는 10dB 이하의 차이를 보이지만, 주파수가 높아질 수록 braid만을 이용한 차폐 케이블은 차폐효과가 현격히 떨어지는 반면, braid와 al-foil을 함께 이용한 차폐케이블은 전 대역에 걸친 차폐효과의 차이가 20dB 이하로 고주파 영역에서 효과적인 것을 확인할 수 있다. 이는 주파수가 높아질수록 차폐효과가 좋아지는 solid

차폐방식의 특징을 보이는 것이며, 높은 주파수 환경에서는 al-foil을 함께 사용한 차폐 케이블을 사용하는 것이 효과적이라는 것을 보여준다.



<그림 7> braid를 이용하여 차폐한 경우 편조밀도에 따른 차폐효과



<그림 8> braid와 al-foil을 이용하여 이중차폐한 경우 편조밀도에 따른 차폐효과

<표 1> braid를 이용한 차폐와 braid와 al-foil의 이중차폐시 차폐효과 비교

편조밀도[%]	차폐방식	braid [dB]	braid+al-foil [dB]
60		26	54
70		32	67
80		42	79
90		56	83

3. 결 론

고효율 자동차에 사용되는 고전압 케이블의 차폐효과를 효과적으로 개선시킬 수 있는 차폐구조를 설계하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. braid와 al-foil을 이용하여 이중 차폐할 경우 기존 braid shield에 필연적인 hole이 생기지 않기 때문에 외부 도체와의 커플링을 통한 노이즈 발생을 억제하여 차폐효과를 향상시킬 수 있으며, 이는 특히 높은 주파수 환경에서 유용하다.
2. braid 차폐방식은 차폐효과 상승을 위해 braid 재료인 동의 비중 상승이 불가피하며, 가격적인 측면에서 불리하다. 따라서, 편조 밀도가 60%이고, al-foil을 함께 사용한 차폐설계를 제안하였으며, 이를 통해 가벼우면서도 경제적이고 차폐효과가 좋은 케이블 제조가 가능함을 알 수 있었다.

본 논문은 단지 차폐효과와 편조 구조와의 관계에 대한 것을 목적으로 하며, 시험 결과에 따른 차폐 구조를 실제 고효율 자동차에 적용시, 작업성 및 케이블 유연성 저하 문제가 발생할 것으로 예상되는데, 이에 대한 추가적인 연구가 필요하다. 또한, 자동차내 전기/전자 컴포넌트의 스위칭 주파수가 높아짐에 따라 시험 주파수를 높일 수 있는 방안에 대해서도 연구할 예정이다.

[참 고 문 헌]

- [1] Halme L., Kytonen R., "Background and introduction to EM screening(shielding) behaviours and measurement of coaxial and symmetrical cables, cable assemblies and connectors", Screening Effectiveness Measurements, IEE Colloquium on, pp.4/1-4/28, 6 May 1998
- [2] Coates A.R., Gavrilakis, A., Duffy A.P., Hodge K.G., Willis A.J., "Shield behaviour of communications cables", Science, Measurement and Technology, IEE Proceedings Volume 150, Issue 6, pp.307-312, 3 Nov. 2003
- [3] Martin, A.R., "An introduction to surface transfer impedance", EMC Technol., 1, pp.44-52, 1982
- [4] Henry W. Ott, "Noise Reduction Techniques in Electronic Systems", John Wiley & Son, Inc., pp.29-72, 1988
- [5] 박학병, "표면전달 임피던스 概念을 利用한 大地面 위 차폐케이블의 輻射性 EMI 特性 解析", 한양대학교대학원 석사학위논문, 1991