

## 케이블 하네스의 차폐효과에 대한 검토

김재신\* 송귀섭\*\* 나승현\*\*\* 이동희\*\*\*\*

### Review on the Shielding Effectiveness of Cable Harness

Kim, Jae shin\*                      Song, Gui Sub\*\*  
Na, Seung Hyun\*\*\*                Lee, Dong Hui\*\*\*\*

---

#### 내용목차

1. 서론
2. EMI/EMC의 계통도
3. 케이블 하네스의 차폐
4. 차폐케이블의 주요 구성품
5. 편조선 처리방법에 따른 차폐효과의 시험
6. 케이블 하네스의 결합방법
7. 결론

---

\* 연합정밀(주) EMC 시험센터 수석연구원  
\*\* 연합정밀(주) EMC 시험센터 책임연구원  
\*\*\* 연합정밀(주) EMC 시험센터 선임연구원  
\*\*\*\* 연합정밀(주) EMC 시험센터 주임연구원

## 케이블 하네스의 차폐효과에 대한 검토

### *Review on the Shielding Effectiveness of Cable Harness*

#### Abstract

The counter plan for electromagnetic interference wave of electric device was constantly studied and provided as a product in manufacturing industries. Those equipments are connected with cables and cable harness. the cable harness is composed with complicated power, control, sensor signal lines. On the other hand, these cables are carrying unnecessary EMI elements to the equipment which is delicated from EMI. Even worse, it has a function of antenna to transfer unwanted EMI.

EMI in electric equipments occurs almost 80~90% in cable harness, it can not be over emphasized. And it is not a easy solution to protect EMI on one point of cable harness considering characteristics of cable harness.

In cable harness, the Composition of connector is very Complicated and various. this connector must provide less contact resistance when it is connected between each equipments, further it also must provide proper protection from EMI, all of cable harness components including connector itself should be suitable for EMI Protection.

〈Key Words〉 *Electromagnetic Interference, Cable Harness, Connector, Electromagnetic Compatibility, Shielding Effectiveness,*

## 1. 서론

현대는 무기체계나, 생활전반에서 전기/전자를 이용한 정보화 시대이다. 디지털 기술과 반도체 기술을 이용한 IT 산업의 발달로 전기/전자 장비의 경량화, 소형화 고속화와 광대역화가 상상을 초월하게 개발되어 있으며 기초 생활필수품에서 최첨단 우주항공 분야까지 감히 제 4의 공해라고까지 부를 만큼 각종 첨단장비들이 동시에 작동되어 인위적인 전자기파, 자연적인 전자기파가 발생하여 복잡하고 광범위한 전자기파의 환경이 형성되어 있다. 이러한 이유로 전기/전자 장비는 서로 전자기파 간섭 즉, EMI(Electromagnetic Interference)를 일으키고 있다. 전자기파 간섭 EMI는 자연현상에 기인한 전자기장에 의한 자연 전자기파와 인위적으로 만들어진 전자기장에 의한 인위적 전자기파로 구분되며, 자연 발생과 인위적인 인공발생은 전자기파 EMI를 형성하면서 바로 그 영향을 받는 입장도 된다. 기본적으로 모든 전기/전자 제품들은 전자기파 간섭의 잠재적인 발생원이다.

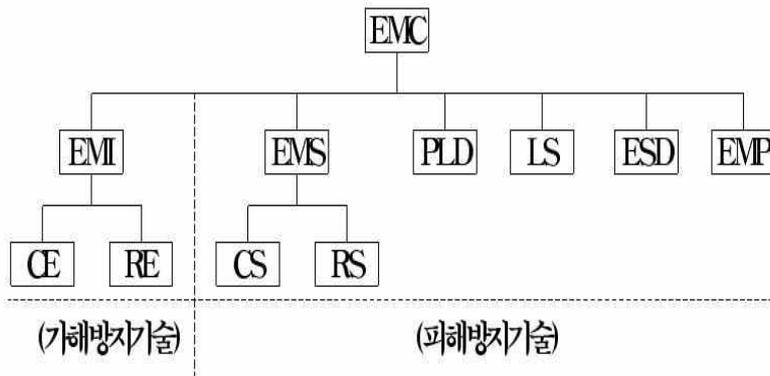
이러한 상호 관계에서 인위적 시스템이 전자기파 간섭의 매질을 통해서 다른 시스템에 영향을 주는 것을 억제하고 동시에 전자기파에 대한 내성(Immunity)을 향상시켜 감응성(Susceptibility)을 저하시켜야 한다.

전기/전자 장비의 고장, 오동작은 장비 자체의 성능은 물론 우리사회에 걸잡을 수 없는 혼란과 군 전투력에 치명적인 손실을 초래하게 된다.

현재 전기/전자 장비의 전자기파 간섭에 대한 대책은 관련 제조분야에서 꾸준한 연구개발과 더불어 상품화하고 있지만 이러한 장비들은 각종 다른 기능의 장비들과 상호 연결해주는 케이블 하네스는 다양한 종류의 전력, 제어, 신호선들이 복합적으로 구성되어 전자기파 간섭의 발생원을 전자기파 간섭에 취약한 장비에 전달시키는 안테나(매개체) 역할을 하고 있다.

전기/전자장비의 전자기파장해 현상은 케이블 하네스에서 80~90% 발생하거나 유입된다고 하여도 과언이 아니며, 또한 케이블 하네스의 제품특성상 어느 한 곳을 집중적으로 대책을 세우는 것이 난해하다. 따라서, 케이블 하네스의 설계단계에서 완성까지 EMC(Electromagnetic Compatibility) 개념에서 시작하여야 하며 꾸준한 연구, 분석을 통하여 최적합의 케이블 하네스 제품을 제작하여야 할 것이다.

## 2. EMI/EMC의 계통도



〈그림 1〉 EMI/EMC 계통도

무기체계를 비롯한 전기/전자 제품에 대한 EMI/EMC 규제 측면에서 계통도를 분리해 보면 전자파 양립성에서 〈그림 1〉 과 같이 가해방지기술(규제)과 피해방지기술(규제)로 구분할 수 있다.

전자기파 양립성 EMC(Electromagnetic Compatibility)는 기기, 장비 또는 시스템이 주변 환경의 사물에 허용 될 수 없는 정도의 전자기파의 장애를 일으키지 않으면서 그 전자기파의 환경에서 만족하게 기능할 수 있는 능력(기기, 장비 또는 시스템이 외부의 잡음원에 영향을 받지 않아야 하며 그자체도 주위의 기기, 장비, 시스템에 잡음원이 되지 않아야 한다는 의미)이다.

전자기파의 양립성은 크게 가해방지기술 규제와 피해방지기술 규제로 나눌 수 있으며, 가해방지기술이 요구되는 전자기파 간섭 EMI(Electromagnetic Interference)는 장애로 인해 발생할 수 있는 기기, 장비, 또는 시스템의 성능저하로 전도성 전자기파 장애와 복사성 전자기파 장애로 분류된다.

여기서 전도성 전자기파 장애 CE(Conducted Emission)는 전기/전자 제품 사이에 직접 연결된 도선이나 전원 케이블, 접속 케이블을 통해 발생하는 현상이며, 복사성 전자기파 장애 RE(Radiated Emission)는 전자기파 간섭의 발생원으로부터 발생된 전자기 에너지가 전자제품 사이의 공간 매질을 통해 발생하는 현상이다. 피해방지 기술이 필요되는 전자기파 감응 EMS(Electromagnetic

Susceptibility)는 전자기파 방해가 존재하는 곳에서 기기, 장비 또는 시스템의 성능이 저하되는 현상이며, 전기/전자 제품의 전원선 방해 PLD(Power Line Disturbance)는 각종 전력선을 통하여 발생하는 방해 전자기파의 전력을 말한다. 위의 두 종류는 인위적인 시스템에서 필요악으로 발생하는 현상이라면 다음의 세 종류 피해방지 기술은 첫 번째 낙뢰방해 LS(Lighting Static)는 자연현상으로서 번개에 의해 전기/전자 회로에 야기되는 과도 전기적 방해 현상이며, 두 번째 정전기 방전 ESD(Electro Static Discharge)는 정전기적 전위가 서로 다른 물체가 근접하거나 또는 직접적으로 접촉함에 따라 물체 간에 일어나는 전하의 이동 현상이 있다. 마지막으로 현재 국제적으로 가장 이슈가 되고 있는 핵무기 즉, 전자기파 펄스 EMP (Electromagnetic Pulse)는 고공에서 핵이 폭발하면 충격파, 열, 방사성 강하물 등이 지상에 도달하지 않은 경우에도 전자파 펄스의 영향이 지상의 넓은 지역에 미치며, [7] 정보통신 시스템이나 전력시스템의 기능을 마비시켜 유사시 군 무기체계에 엄청난 기술적 치명타가 예상된다.

따라서 최적합 전자기파 양립성(EMC)을 위해서 가해방지기술(규제)과 피해방지기술(규제)을 동시에 만족하는 시스템을 구성해야 한다.

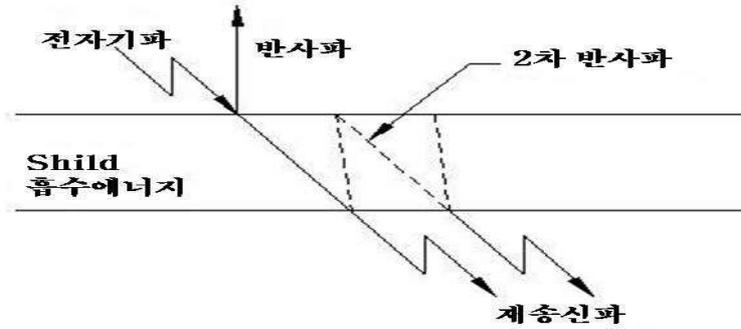
전자/전기 제품과 군무기 체계에서 각종 다른 첨단장비들은 설계자가 의도된 기능에 따라 최고의 독자적인 성능은 발휘하는데 큰 문제점이 없으나 이러한 각종 다른 첨단 장비들을 상호 연결해주는 케이블이나 케이블 하네스는 가해와 피해의 2중적인 매개체 역할을 하고 있다. 아무리 훌륭한 첨단장비라도 케이블 하네스에 인체의 혈관처럼 동맥경화, 혈전이 쌓이면 본연의 성능을 발휘할 수 없다. 최적합 전자기파 양립성(EMC)에 대한 대책 방법이 수없이 많지만 여기서는 케이블 하네스의 대책방법을 수립해 보았다.

### 3. 케이블 하네스의 차폐

#### 3.1 전자기파의 차폐원리

전자기파를 차폐하는 근본 목적은 전자기파 발생원인과 영향을 받는 장비사이에서 전자 간섭파를 감소시키고자 하는 데 있으며 전자기파계는 차폐내부에 회

유전류를 유기시키고 이 순환전류는 또 다른 계(Field)를 형성하게 되는데 이 형성된 계는 전자기파계에 반대로 작용하여 상쇄효과를 나타냄으로써 전자기파를 감소시킨다. 차폐는 또한 차폐자체에서 <그림 2> 반사와 흡수의 복합적인 작용으로 전자기파를 감소시킨다.



<그림 2> 전자기파 간섭 감소효과

예를 들어 전자기파가 무한 장의 단층으로 차폐된 곳에 수직으로 인가되었다고 가정할 때 단층의 차폐효과 SE는 [8]

$$SE = (A+R+B) \text{ [dB]}$$

A : 흡수 감쇠량  
 R : 반사 감쇠량  
 B : 2차 내부반사에 의한 감쇠량

여기서는 흡수 감쇠량 A는

$$[dB] \quad A_{dB} = 131.4 t_{mm} \sqrt{f_{MHz} \mu_r \sigma_r}$$

$t_{mm}$  : 차폐의 두께       $f_{MHz}$  : 인가 주파수  
 $\mu_r$  : 차폐의 투자율       $\sigma_r$  : 차폐의 도전율

위 식에서 흡수 감쇠량은 차폐물질의 특성에 기인하며 감쇠 효과를 높이기 위해서는 두께 t를 증가시켜야 함을 알 수 있다. 두께 t의 2배는 흡수 감쇠량도 2배의 효과가 얻어지지만  $f_{MHz} \cdot \mu_r \cdot \sigma_r$ 의 값이 2배이면 흡수 감쇠량은 1.414배만이 얻어진다. [10]

반사 감쇠량 R은

$$R = 20 \log \left( \frac{Z_w}{4Z_s} \right) \text{ [dB]}$$

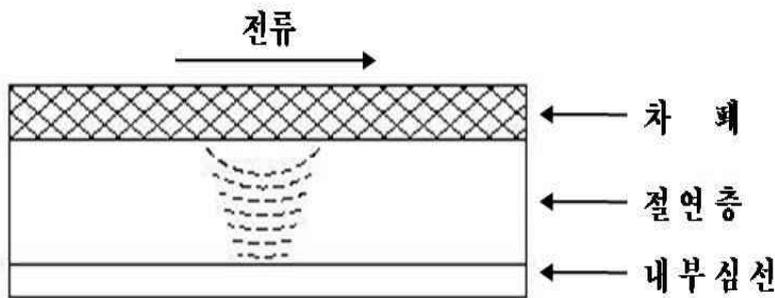
$Z_w$  : 차폐에서의 간섭파 임피던스( $\Omega$ )  
 $Z_s$  : 차폐물질의 순수 임피던스( $\Omega$ )

위 식에서 반사로 인한 감쇠량은 차폐물질에 부딪치는 간섭파의 임피던스와 차폐물질 자체의 순수 임피던스간의 비 정합비(Mismatching Ratio)에 비례함을 알 수 있다.

차폐효과를 위한 두 가지 중요한 항목은 반사손실과 흡수손실이다. 차폐의 기초 이론은 금속 벽을 통한 투과와 금속면으로부터 반사에 근간을 두고 있다. <그림 2> 과 같이 간섭원으로부터 전자기파와 차폐재 사이의 임피던스(Impedance) 부정합 때문에 저 임피던스 차폐 면으로부터 일부는 반사하고 일부는 차폐재 내부에서 흡수된 후 투과한다. 또한 흡수 손실이 작을 때 차폐재료의 경계면 사이에서 다중 반사가 존재한다.

### 3.2 차폐효과의 측정

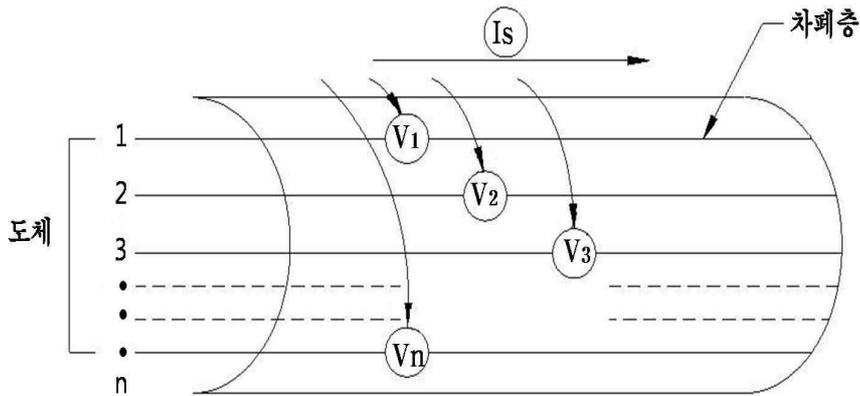
케이블 하네스의 차폐효과(SE)는 차폐재료의 Impedance의 값에 따라 <그림 3> 내부 심선에 유도전압이 발생된다.



<그림 3> 차폐재료의 임피던스에 의해 발생하는 심선의 유도전압

위의 원리에 의하여 차폐재료를 케이블 하네스에 적용하여 차폐효과를 유도해

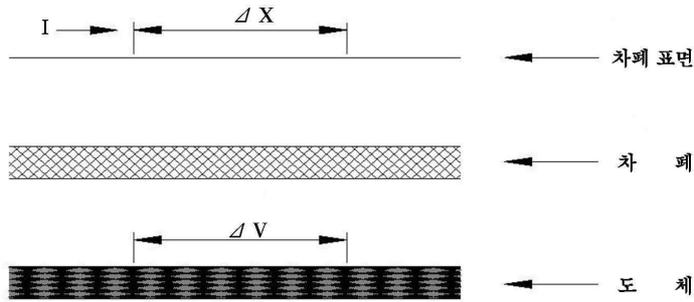
보면 케이블의 차폐재료는 완전한 차폐가 아니므로 <그림 4> 과 같이 유도전압이 유기된다. [2]



<그림 4> 케이블의 내부 심선에 발생하는 유도전압

이러한 유기전압은 표면전류의 변화에 따라 내부 도체에 굴곡이 심한 외부 전자기파를 인가하므로 쉘드층의 표면 임피던스는 매우 중요한 값이며 각주파수에 따른 Impedance는 일정하면서도 미소한 값일수록 차폐효과는 좋아진다.

케이블 하네스의 차폐효과는 표면전달 임피던스 값을 이용하여 구할 수 있다. <그림 5> 와 같이 차폐표면  $\Delta X$ 에 전류  $I$ 가 흐를 경우를 가정하면 차폐는 완전한 차폐가 아니기 때문에 심선에는 유기전압  $\Delta V$ 가 유기된다. 위의 두 변수를 이용하여 표면전달 임피던스  $Z_t$ 는 다음과 같이 구할 수 있다.



<그림 5> 차폐재료에 의한 표면전달 임피던스

$$Z_t = \frac{1}{I} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta X} \quad [\Omega/m]$$

표면전달 임피던스  $Z_t$ 와 차폐효과 SE의 관계식을 유도하기 위하여 R. Martin의 표면전달 임피던스 식

$$Z_t = \frac{\sqrt{Z_{01} Z_{02}}}{l(1+K)} \sqrt{\frac{P_L}{P_{out}}} \times \left[ \frac{4(1-\rho_{12}\rho_{22})(1-\rho_{11}\rho_{21})}{(1+\rho_{22})(1-\rho_{11})(1-\rho_{12})(1-\rho_{21})} \right]$$

$K$  :  $Z_g / Z_{01}$

$Z_{01}$  : 전송선 #1의 특성 임피던스

$Z_{02}$  : 전송선 #2의 특성 임피던스

$Z_g$  : 신호 전원의 임피던스

$l$  : 케이블의 길이

$e$  : 반사계수

$e_{11}$  : 전송선 #1에서 가까운 부분에서의 반사계수

$e_{12}$  : 전송선 #1에서 먼 부분에서의 반사계수

$e_{21}$  : 전송선 #2에서 가까운 부분에서의 반사계수

$e_{22}$  : 전송선 #2에서 먼 부분에서의 반사계수

$\epsilon$  : 케이블 도체 주변의 상대 유전율

$d$  : 케이블 직경

h : 지면위 케이블의 높이

케이블 차폐효과(Shielding Effectiveness)의 정의 식은

$$SE = \frac{P_{out}}{P_L}$$
$$D = \left[ \frac{4(1 - \rho_{12}\rho_{22})(1 - \rho_{11}\rho_{21})}{(1 + K)(1 + \rho_{22})(1 - \rho_{11})(1 - \rho_{12})(1 - \rho_{21})} \right]$$

표면전달 임피던스

$$Z_t = \sqrt{Z_{01} Z_{02}} \times \sqrt{\frac{1}{SE}} \left(\frac{D}{l}\right) \text{로 나타낼 수 있다.}$$

$$\text{또는 } SE = \frac{Z_{01} Z_{02}}{Z_t^2} \left(\frac{D}{l}\right)^2$$

위식을 대수식으로 변환시키면 아래와 같이 된다.

$$\begin{aligned} SE_{dB} &= 10 \log \frac{P_{out}}{P_L} \\ &= 10 \log Z_{01} + 10 \log Z_{02} + 20 \log D - 20 \log l - 20 \log Z_t \quad [10] \end{aligned}$$

케이블은 지면위에서 사용하기 때문에 전송선 #1 의 특성 임피던스  $Z_{01}$ 은

$$Z_{01} = \frac{60}{\sqrt{\epsilon}} \cosh^{-1}\left(\frac{2h}{d}\right)$$

케이블 주변이 공기로 차 있을 경우  $\epsilon$ 은 1이 되며,  $Z_{01}$ 은 약 50  $\Omega$ ,  $Z_{02}$ 는 케이블 구조에 따라 약 30 $\Omega$  정도 된다. 이를 위식에 대입하면

$$SE_{dB} = 36 - 20 \log_{10} l - 20 \log_{10} Z_t$$

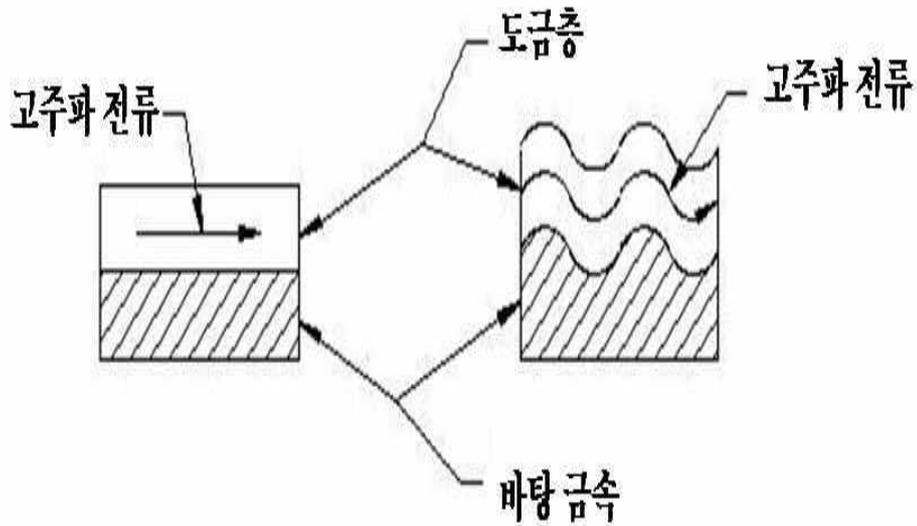
차폐효과 SE와 표면전달 임피던스  $Z_t$ 는 서로 역 비례하고 길이  $l$  이 증가하면 차폐효과는 점점 감소함을 알 수 있다. [1]

## 4. 차폐케이블의 주요 구성품

### 4.1 가공품의 후처리방식

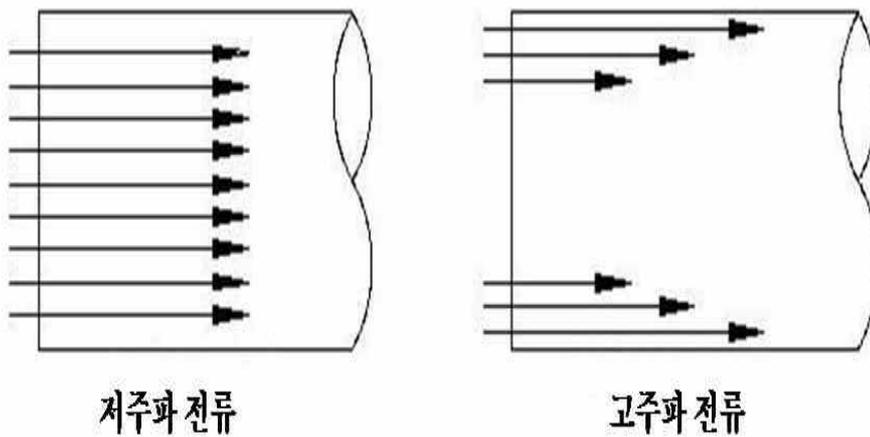
케이블 하네스의 각 부품은 전기 전도도가 차폐효과에 매우 중요한 역할을 한다. 특히 케이블을 장비 상호간 연결해주는 커넥터, 어댑터 가공품의 바탕 금속 위에 전도성 도금은 <그림 6> 바탕금속의 가공 표면 거칠기와 도금의 후처리에

따라 저주파대역과 고주파대역에서 차폐효과는 현저한 차이를 보인다.



<그림 6> 표면 거칠기와 전도성 도금처리

특히 고주파대역은 표피효과(Skin Effect)에 따라 가공부품의 표면 거칠기와 전도성 도금은 고난도의 기술이 요하게 된다. <그림 7>



<그림 7> 고주파 대역에서의 표피효과

## 1) 커넥터의 구성



〈그림 8〉 차폐용 커넥터

커넥터는 여러 가지 Style별 Series로 구분되고 있으나 시험에 사용된 커넥터는 YH 26482 II Series의 Bayonet Coupling 방식으로서 전기적, 기계 및 환경적 특수성이 우수하여 고도의 신뢰가 요구되는 항공장비 및 미사일 첨단통신장비 등에 널리 사용되고 있으며, 특히 EMI 차폐성능이 탁월하여 전자파 방해를 완벽히 차단시키므로 전혀 외부 간섭을 받지 않고 정확한 시그널라인을 구축할 수 있다.

## 2) 어댑터의 구성



〈그림 9〉 차폐용 어댑터

어댑터는 케이블 조립체의 커넥터와 편조선 사이에 연결되어 EMI 차폐 효과를 극대화하기 위해 사용한다.

### 3) 편조선의 구성



〈그림 10〉 차폐용 편조선

편조선은 케이블 조립체의 물리적, 전기적, 환경적으로 보호하고 EMI 차폐효과의 차폐율에 대한 결정적인 역할을 하며, 편조선 치수 및 규격은 50073712의 도번에 대해 적용하였으며 시험에 사용된 편조선은 ★와 같이 50073712-0113의 규격을 적용하였다.

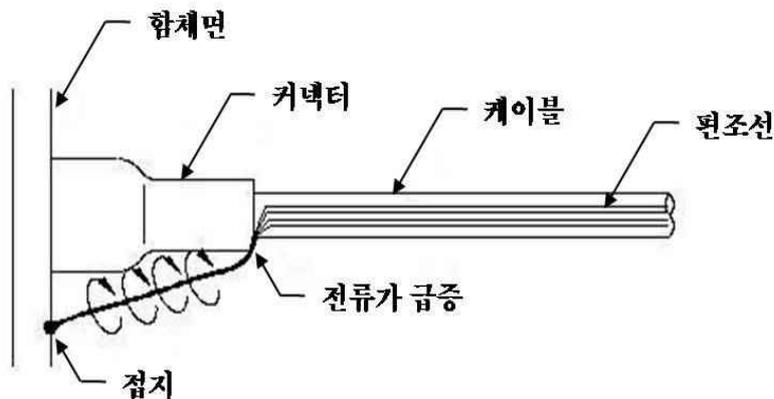
〈표 1〉 편조선 치수 및 규격

부품번호	튜브외경(A) (외경±대칭)	캐리어수 상세도A참조	엔드 수 상세도A참조	개별전선크기 (AWG/mm)	최소차폐율 (Coverage%)	적용케이블의장범위	
						최대	최소
50073712-0001	3.0 ± 0.13	16	5	36/0.13	90	3.5	2.0
50073712-0002	4.0 ± 0.25	16	7	36/0.13	90	5.0	3.0
50073712-0003	5.0 ± 0.25	24	6	36/0.13	90	6.0	4.0
50073712-0004	6.0 ± 0.25	24	7	36/0.13	90	8.0	5.0
50073712-0005	10.0 ± 0.25	24	9	34/0.16	90	12.0	7.0
50073712-0006	12.5 ± 0.25	24	10	34/0.16	90	14.0	11.0
50073712-0007	15.0 ± 0.38	24	11	32/0.20	90	18.0	13.0
50073712-0008	20.0 ± 0.38	36	7	30/0.25	90	23.0	17.0
50073712-0009	25.0 ± 0.38	36	9	30/0.25	90	28.0	22.0
50073712-0010	30.0 ± 0.38	36	9	28/0.32	90	40.0	27.0
50073712-0111	4.0 ± 0.25	24	9	38/0.10	90	9.0	3.7
★ 50073712-0112	6.0 ± 0.25	24	9	36/0.13	90	13.5	4.6
50073712-0113	7.5 ± 0.25	24	14	36/0.13	90	16.0	7.5
50073712-0114	10.0 ± 0.25	36	12	36/0.13	90	22.5	9.0
50073712-0115	12.5 ± 0.25	36	15	36/0.13	90	24.0	11.0
50073712-0116	20.0 ± 0.38	48	16	36/0.13	90	32.0	17.0
50073712-1117	4.0 ± 0.25	24	9	38/0.10	90	9.0	3.7
50073712-1118	6.0 ± 0.25	24	9	36/0.13	90	13.5	4.6
50073712-1119	7.5 ± 0.25	24	14	36/0.13	90	16.0	7.5
50073712-1120	10.0 ± 0.25	36	12	36/0.13	90	22.5	9.0
50073712-1121	12.5 ± 0.25	36	15	36/0.13	90	24.0	11.0
50073712-1122	20.0 ± 0.38	48	16	36/0.13	90	32.0	17.0

## 4.2 차폐재료의 접속방법

케이블 하네스가 차폐재료로 구성되었지만 종단처리 <그림 11> 에서 접지선으로 처리하면 접지선 부근에서 전류가 급증하여 많은 양의 누설 전류가 발생하고 이 누설전류는 내부 심선에 불필요한 에너지원이 된다.

따라서 전자기파 투과 방지를 위해서는 차폐재료의 360°균일한 접속이 필요하게 된다. 케이블 하네스의 커넥터와 어댑터 상호간 최대 조임은 누설 방지 효과가 기대되며 케이블 하네스와 장비 상호간 고주파 결합 감소를 위하여 함체면과 케이블 하네스의 커넥터 어댑터에 전도성 후처리를 실시하여 적용해야 한다.

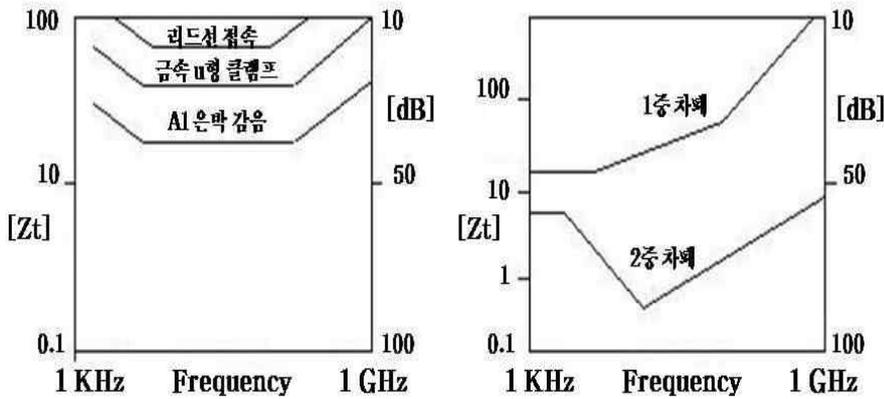


<그림 11> 편조선(Braid)의 종단처리

또한, 최대 차폐율을 위하여 케이블 하네스의 차폐재료 즉, 편조선(Braid)의 형상을 원형대로 최대 유지하고 전체적으로 균일한 상태를 유지해야 한다.

## 4.3 편조선 처리방법에 의한 차폐효과

케이블 하네스에 적용되는 차폐방법은 일반적인 방법 <그림 12-1> 과 차폐재료인 편조선(Braid)을 적용하는 방법 <그림 12-2> 이 있으며, 그림에서와 같이 일반적인 방법은 내부 심선에 많은 양의 유도전압이 유기되지만 차폐재료의 편조선(Braid)처리 방법은 1중 차폐(Single) 처리와 2중 차폐(Double) 처리에 따라 매우 우수한 차폐효과가 얻어진다.



<그림 12-1>

<그림 12-2>

<그림 12> 차폐 방법에 따른 차폐효과

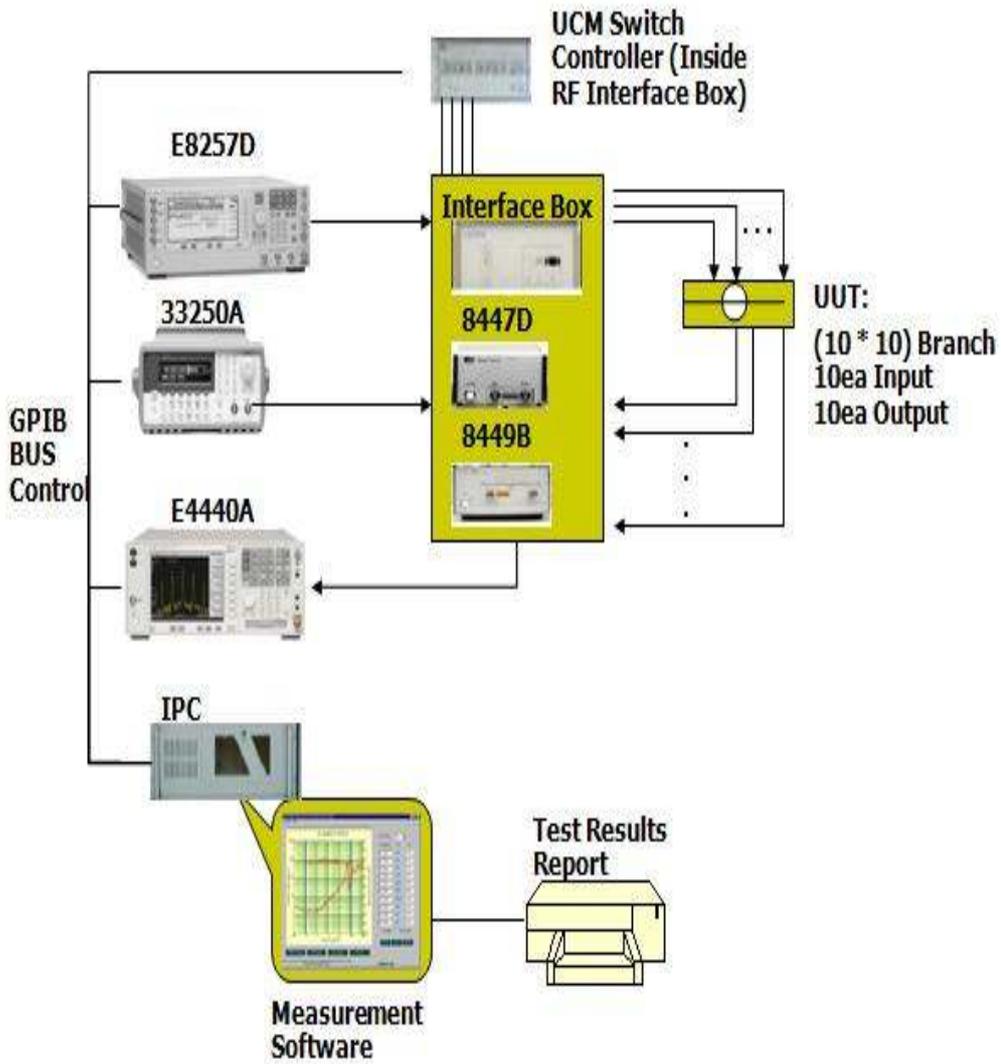
## 5. 편조선 처리방법에 따른 차폐효과의 시험

### 5.1 차폐효과의 시험방법

케이블 하네스에서 차폐재료 편조선(Braid) 처리작업은 <그림 15-1~그림 15-9> 까지 동일한 작업자가 같은 부품(커넥터, 어댑터, 종단 밴드)을 사용하여 동일한 길이(1.0 m)로 시험 시료를 제작하였으며, 시험의 실시는 ‘측정방법 및 측정결과의 정확도(진도 및 정밀도) KS A ISO 5725-1~6’ [5] 의 위배되지 않도록 시험을 실시하였고 시험환경 조건은 온도: 23 °C, 습도: 50 %, 로 규격에 명시된 환경 조건에 맞게 실시하였으며, 시험방법 및 측정절차는 시험케이블이 전선일 경우는 ‘MIL-C-85485A, 4.7.24항 표면전달 임피던스 시험방법’ [11] 시험케이블이 실거리일 경우는 ‘케이블 하네스 EMI 차폐효과 시험기법 개발 ATRC-513 -92468’ [1] 과 ‘케이블 하네스 EMI 차폐효과 시험방법의 유효화 보고서’ [6] 에 의거하여 수행하였다. 또한 시험기관의 측정결과를 보고 기술하는데 측정값의 신뢰성을 나타내기 위하여 ‘KS Q ISO/IEC 17025(시험기관 자격을 위한 일반적인 요구사항)’ [9] 따라 ‘숙련도시험 운영기준’ [3] 과 ‘측정결과의

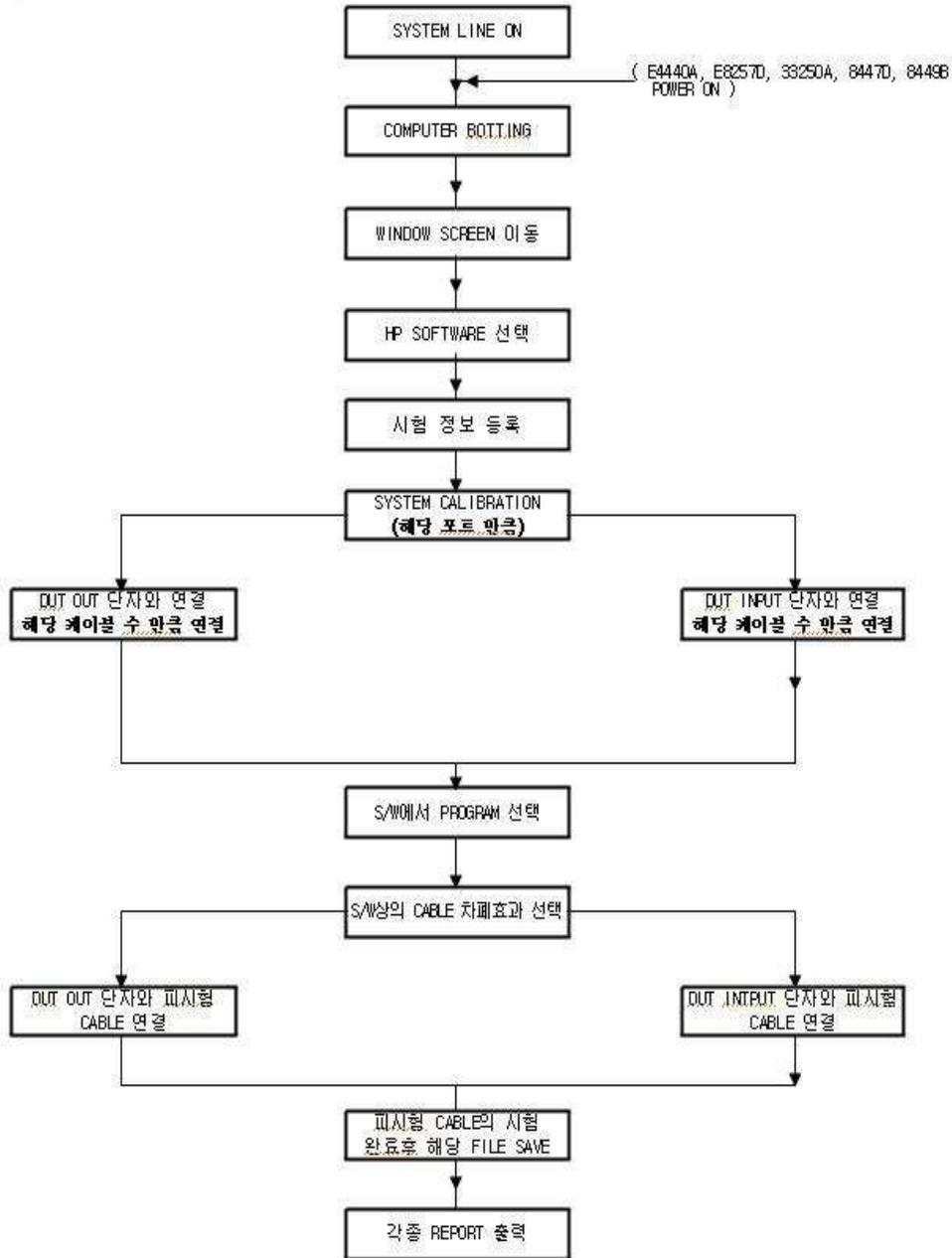
불확도(Measurement Uncertainty) 추정 및 표현을 위한 지침 [4] 절차를 보유 적용토록 하였다.

### 5.2 측정장비의 구성



<그림 13> 측정장비의 구성

### 5.3 측정시스템의 운용순서



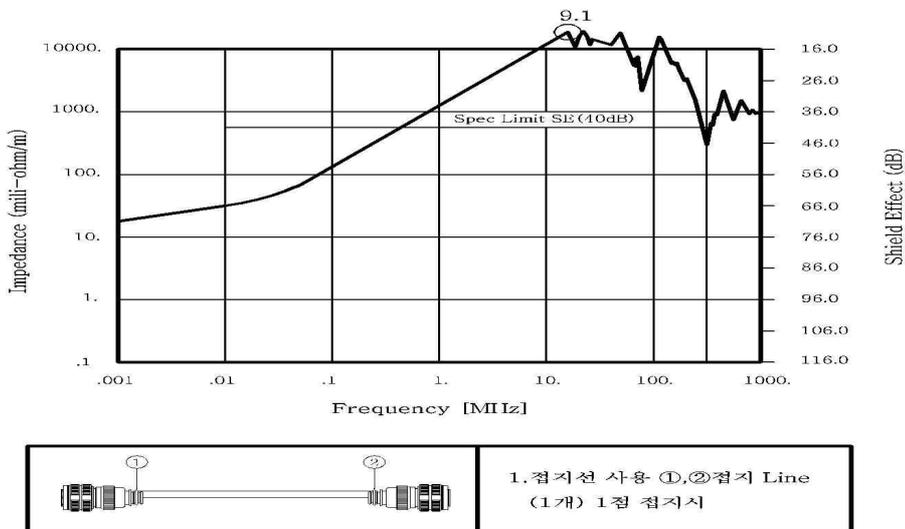
<그림 14> 시스템블록 다이어그램

### 5.4 일자형 케이블 하네스 차폐효과 시험

각종 무기체계의 전원용, 신호전송용 등으로 사용되며 방산 및 일반 산업분야에 다양하게 적용되고 있는 케이블 하네스의 대부분을 차지하고 있는 일자형 (Straight) 케이블 하네스의 EMI 차폐효과를 시험하기 위해 편조선(Braid)은 현재 군무기 체계에 적용되고 있는 50073712 Series, 커넥터는 MIL-C-26482 Series, 커넥터와 편조선(Braid)을 연결해주는 어댑터는 YAR(T) 54AB Series, 어댑터와 편조선(Braid)을 연결해주는 중단밴드는 S3175 Series를 사용하였다.

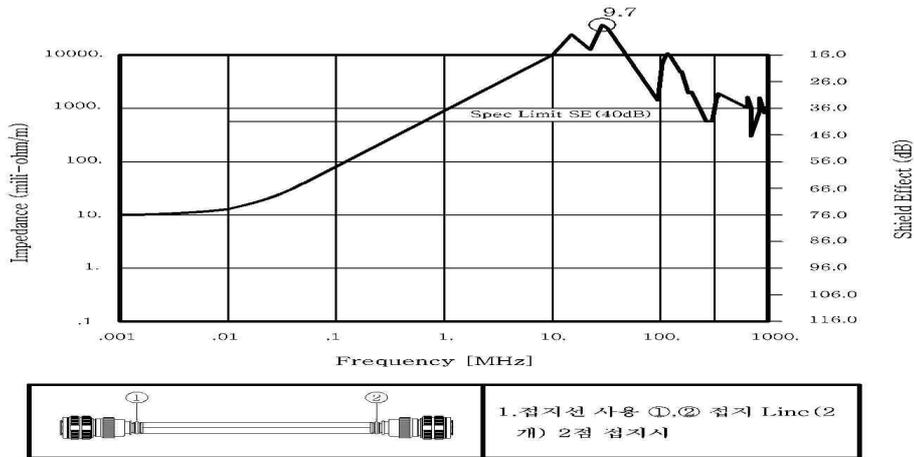
차폐효과 시험기준(Specification Limit)은 군 무기체계 시스템에서 일반적으로 가장 많이 적용하고 있는 값을 선정하여 실시하였다.

#### 1) 일자형 케이블 하네스의 차폐효과



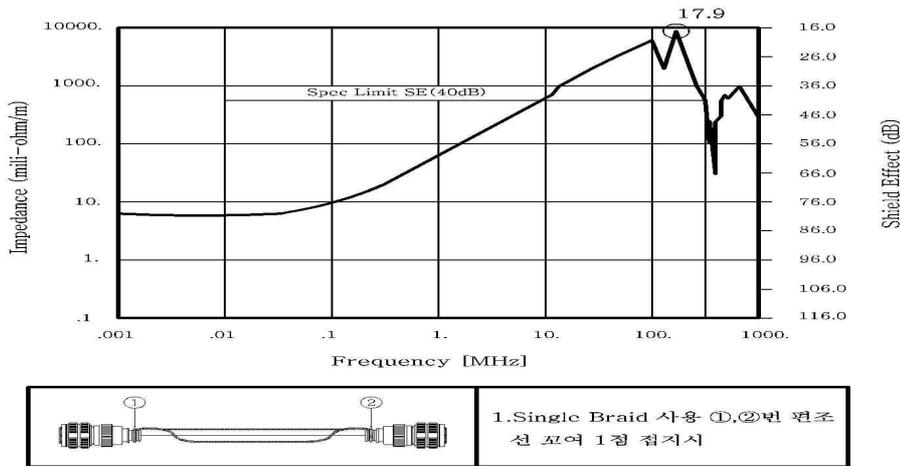
<그림 15-1>

<그림 15-1> 은 차폐재료인 편조선(Braid)을 사용하지 않고 접지선 (AWG 20번)을 1개 사용하여 ①과② 부분에 1점씩 중단 밴딩으로 접지 처리하여 차폐효과를 살펴보면, 저주파대역에서 점점 나빠져서 10 MHz 부근에서 최저값의 차폐효과(9.1 dB)를 나타내고 있다.



<그림 15-2>

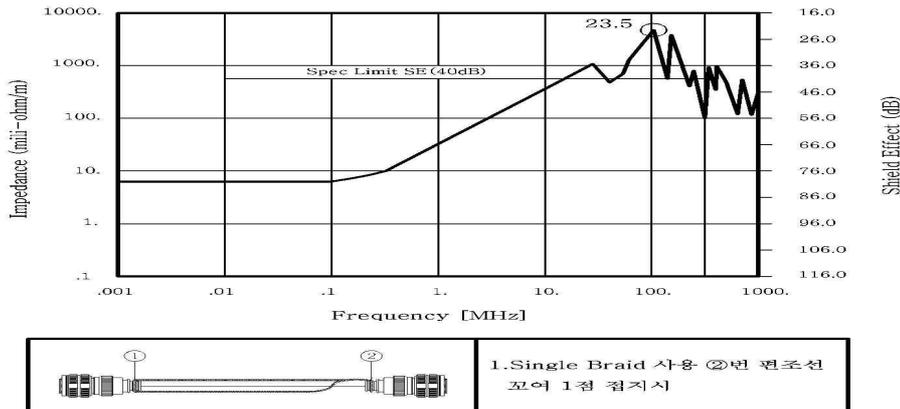
<그림 15-2> 는 차폐재료인 편조선(Braid)을 사용하지 않고 접지선 (AWG 20번)을 2개 사용하여 ①과② 부분에 2점씩 종단 밴딩으로 접지처리하여 차폐효과를 살펴보면, 접지선 1점 보다 약 0.6 dB 정도 좋은 것처럼 보이지만 차폐 케이블 개념에서는 미소한 변화의 차폐값 (9.7 dB)을 보여주고 있다.



<그림 15-3>

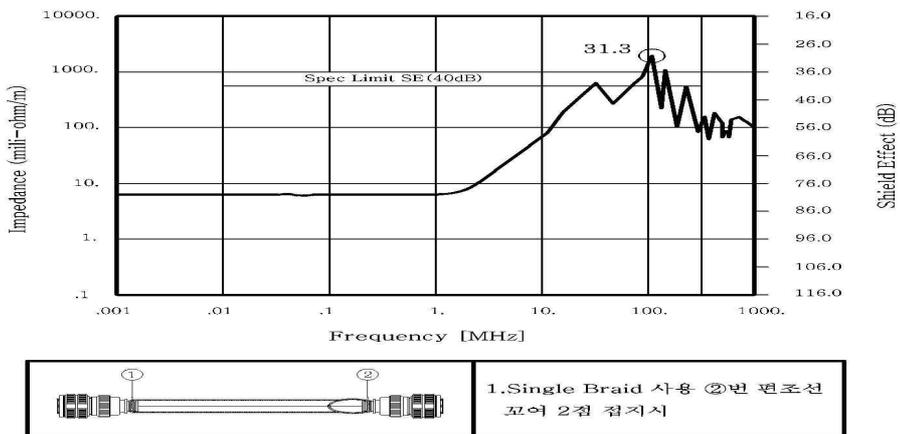
<그림 15-3> 은 케이블 중간에 차폐재료인 편조선(Braid)을 사용하고,

커넥터 양 끝단 ①과② 부분에서 접지선으로 유도하여 처리하는 방법이다. 이는 일반 산업용기기들의 케이블 하네스의 차폐 처리법중의 하나이며, 고주파 대역에서는 차폐효과(17.9 dB)를 기대할 수 없는 구성이다.



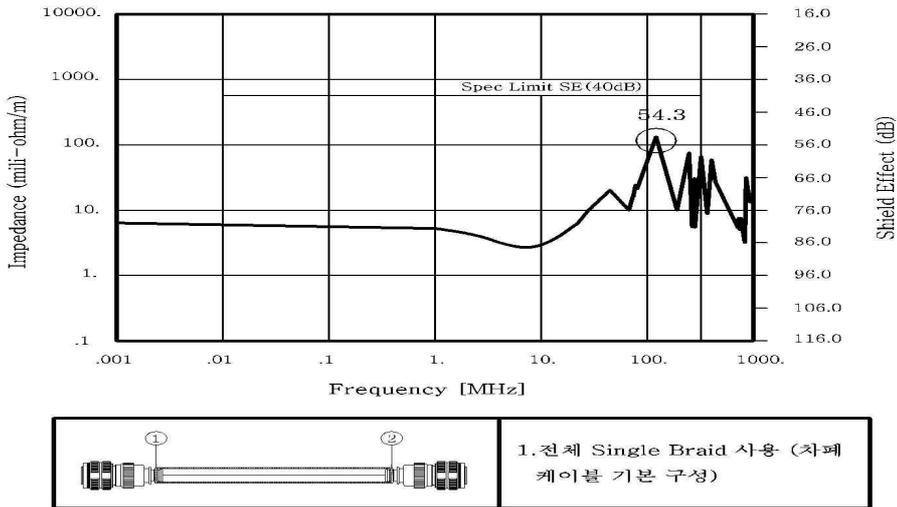
<그림 15-4>

<그림 15-4> 는 케이블에 차폐재료인 편조선(Braid)을 사용하여 ① 부분은 커넥터와 어댑터를 이용하여 중단밴딩처리하였고, ②부분은 장비나 몸체에 1점 접지개념으로 중단 처리하였을 때, 차폐값은 규격에 만족하지 못할 뿐만 아니라 고주파 대역에서 매우 낮은 차폐효과(23.5 dB)를 나타내고 있다.



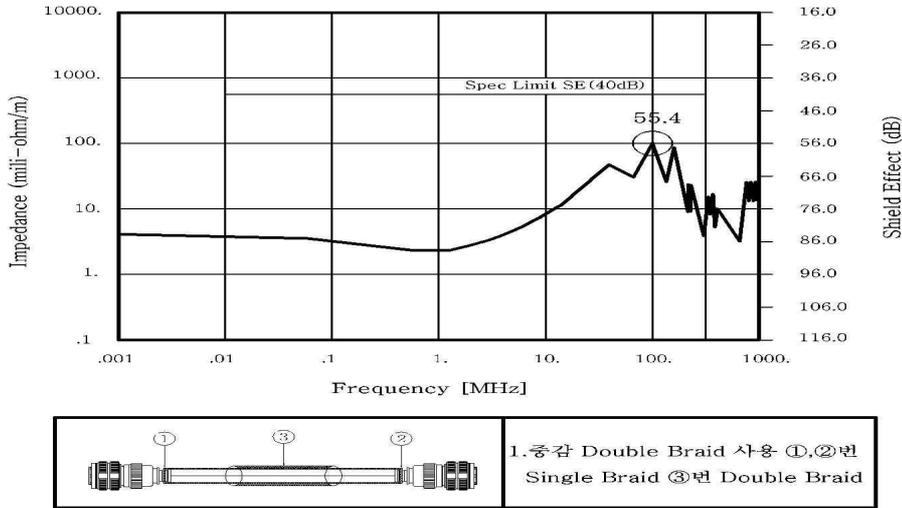
<그림 15-5>

〈그림 15-5〉는 케이블에 차폐재료인 편조선(Braid)을 사용하여 ① 부분은 커넥터와 어댑터를 이용 종단밴딩 처리하였고, ②부분은 차폐 재료인 편조선을 180° 방향으로 2점 접지처리하였다. 이 경우 한쪽 커넥터 부근에서 360° 차폐되지 않아 누설 전류가 발생하여 고주파 대역에서는 차폐효과(31.3 dB)를 기대할 수 없다.



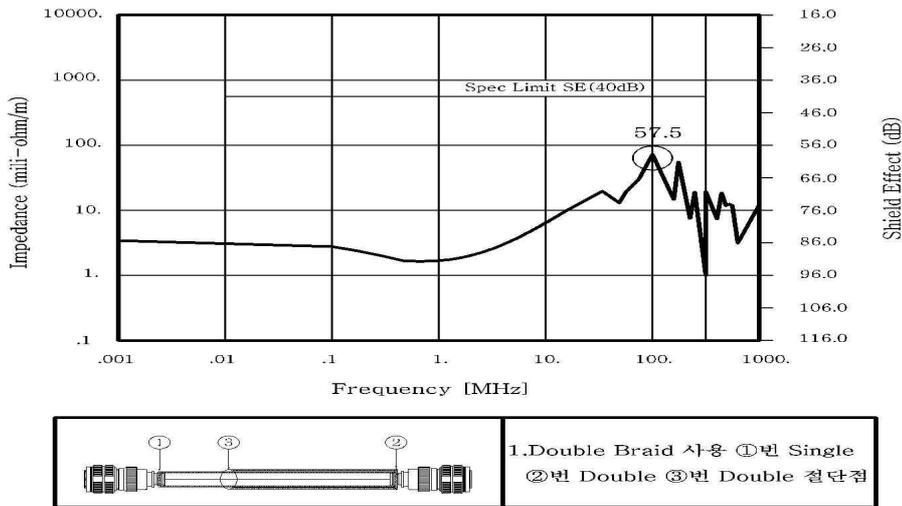
〈그림 15-6〉

〈그림 15-6〉은 차폐재료인 편조선(Single Braid)을 사용하여 ①, ② 부분 커넥터에 종단밴딩을 이용하여 EMI 차폐 편조선(Braid) 처리법으로 제작하여 차폐 시험한 결과, 저주파 대역에서 고주파 대역까지 안정되면서 우수한 차폐효과(54.3 dB)를 얻을 수 있다.



<그림 15-7>

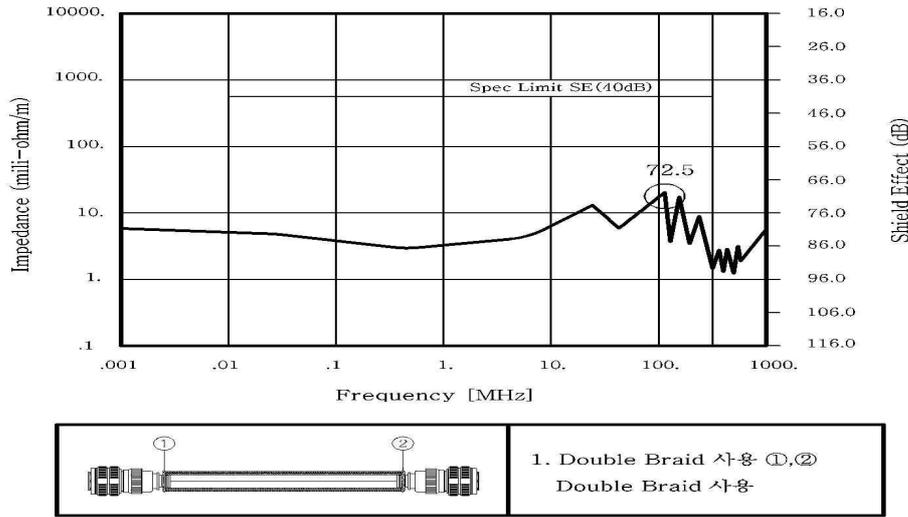
<그림 15-7> 은 ①, ②부분은 1중 차폐(Single Braid) 처리하였고 케이블 중간 ③부분에는 2중 차폐(Double Braid) 처리하여 차폐 시험한 결과인 <그림15-6> 과는 큰 차이점이 없는 차폐효과(55.4 dB)를 나타내고 있다.



<그림 15-8>

<그림 15-8> 은 차폐재료인 편조선(Braid)을 ①부분에 1중 차폐

(Single Braid) 처리하고 ②부분은 2중 차폐(Double Braid) 처리하고 ③ 부분은 2중 차폐(Double Braid) 종단 처리하였을 경우, 고주파 부근에서 <그림 15-7> 보다 약 2 dB정도 좋은 차폐효과(57.5 dB)를 나타내고 있다.



<그림 15-9>

<그림 15-9> 는 차폐재료인 편조선(Braid)을 케이블 전체 ①,②부분에 2중 차폐(Double Braid) 처리할 경우, 저주파 대역에서 고주파 대역까지 매우 우수한 차폐효과(72.5 dB)가 얻어짐은 보여주고 있다.

## 2) 차폐재료 처리에 따른 차폐효과

차폐재료 처리방법에 따라 EMI 차폐효과 값은 상당한 차이가 있다. 시험에서는 동일한 레벨의 커넥터를 사용하여 <그림15-1> 과 <그림15-2> 처럼 단순한 접지선 처리방법은 시험을 위한 회로구성이며 차폐효과는 거의 기대할 수 없다.

<그림15-3> ~ <그림15-5> 처럼 차폐재료인 편조선(Braid)을 사용하였으나 어느 한쪽에만 어댑터에 종단밴드로 처리하고 다른 한쪽은 접지선처럼 단자로 몸체에 접지 처리한 경우 저주파수 대역(약 1 kHz~10 MHz)에서는 주어진 규격에 만족하지만 고주파수 대역(약 10 MHz~1 GHz)에서는 규격을 벗어나 매우 낮은 차폐

효과를 나타내고 있다.

동일한 조건에서 <그림15-6>은 케이블 하네스의 설계 기본이 되는 1중 차폐 처리방법이며, 측정하고자 하는 모든 주파수 대역에서 안정되면서 우수한 차폐 효과를 나타내고 있다. <그림 15-7>은 한쪽부분은 2중 차폐처리하고 다른 한쪽은 1중 차폐한 경우이며 <그림15-8>은 커넥터 연결부위 양쪽은 1중 차폐처리, 중간부분은 2중 차폐 처리한 경우인데 이러한 방법은 1중 차폐로 커넥터 양 끝쪽을 완전하게 처리한 방법과 큰 차이가 없음을 보여주고 있다.

<표 2> 차폐재료 편조선처리 분석결과

구분 시료	차폐재료 처리방법	차폐효과 (dB)	비 고 (적용 예)
<그림15-1>	접지선 1점 사용	9.1	일반가정용 (일반전자제품 등)
<그림15-2>	접지선 2점 사용	9.7	“
<그림15-3>	편조선 사용 (양끝단 접지선 사용)	17.9	산업기기용 (자동차, 반자동화기기 등)
<그림15-4>	편조선 사용 (한쪽 중단밴드 처리 한쪽 1점 접지선 처리)	23.5	“
<그림15-5>	편조선 사용 (한쪽 중단밴드 처리 한쪽 2점을 180° 접지 처리)	31.3	“
<그림15-6>	편조선 사용 (양쪽 중단밴드 처리)	54.3	군용, 우주항공용 (군 무기체계, 위성통신기기 등)
<그림15-7>	편조선 사용 (한쪽은 1중 차폐 중단밴드 처리 한쪽은 중간부분 2중 차폐 처리)	55.4	“
<그림15-8>	편조선 사용 (한쪽은 1중 차폐, 한쪽은 중간부분 2중 차폐처리)	57.5	“
<그림15-9>	편조선 사용 (양쪽 2중 차폐처리)	72.5	“

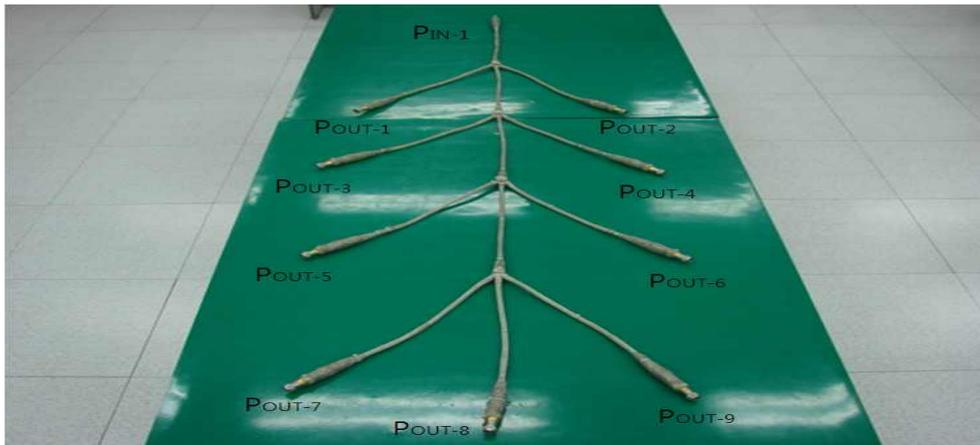
<그림 15-9>는 차폐재료를 2중 차폐한 경우 평균 약 80 dB 정도의 아주 높은 차폐효과를 가진 케이블 하네스를 설계할 수 있음을 보여주고 있다.

위의 결과 케이블 하네스의 EMI 차폐효과는 주어진 제품의 설계 방안에 따라 전기/전자 장비 및 무기체계에서 각각의 시스템이 정상적으로 동작할 수 없는 낮은 레벨의 차폐효과 값과 우수한 차폐 효과를 가진 차폐 케이블을 제작할 수 있음을 보여준다. <그림: 15>

## 5.5 갈래형 케이블 하네스의 차폐효과 시험

현대의 집적화된 첨단장비 및 무기체계의 각종 배선은 인체의 혈관처럼 섬세하면서도 만능적인 역할을 담당하고 있다. 이러한 갈래형(Branch) 케이블에서의 EMI/EMC 문제는 첨단장비 및 무기체계의 시스템에 핵심 역할을 하고 있으나 지금까지 갈래형(Branch)에 대해 EMI 차폐효과 측정방법이 명시되지 않아 체계 설계시 큰 부담으로 남아 있으나 갈래형 케이블(Branch Cable) 측정법을 개발하여 각각의 경로에 대하여 EMI 차폐효과를 측정하였다.

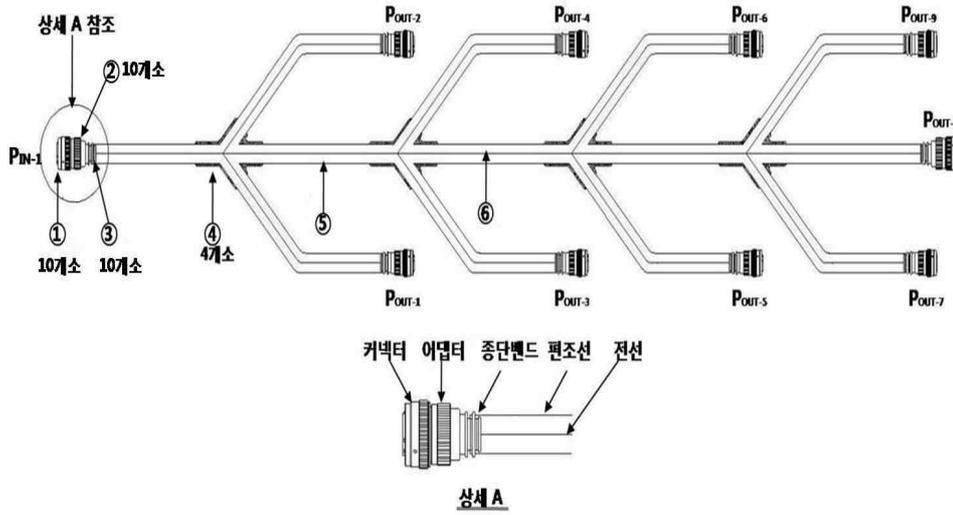
### 1) 갈래형 케이블(Branch Cable) 형태



<그림 16> 갈래형 차폐케이블 형태(시험시료)

### 2) 갈래형 차폐재료의 시료구성 및 처리방법

갈래형(Branch) 케이블 하네스의 시험방법 및 시험조건은 일자형(Straight) 케이블 하네스의 시험방법(5.1항 시험방법)과 동일하게 수행되었으며, 시험에 사용된 케이블 제작방법 및 사양은 다음 <그림 17> 과 같다.

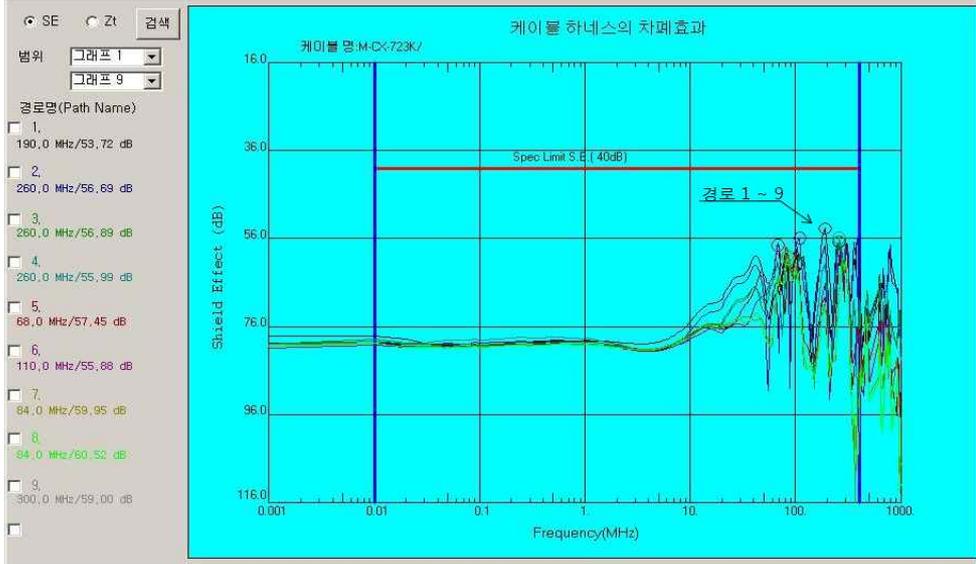


<그림 17> 갈래형 차폐재료 시료구성

<표 3> 갈래형 차폐재료 처리방법

순위	품명	수량	부품번호	비고
1	커넥터	10	MS3475W14-19P	MIL-C-26482 Series중 커넥터 MS3475W 14-19P를 선정 후 10개소 동일적용
2	어댑터	10	YAR54AB90-1406	YAR54AB Series중 어댑터 YAR54AB 90-1406를 선정 후 10개소 동일적용
3	중단밴드	10	S3175-4	S3175 Series중 중단밴드 S3175-4를 선정 후 10개소 동일적용
4	섀드 테이프	AR	20027322	섀드테이프(Metal wire mesh tape (20027322)를 선정 분기점 4개소에 수회 감은뒤 납땜 및 초실처리
5	편조선	AR	50073712-0113	편조선(Braid)은 시험하고자 하는 전선 즉, 피시험 케이블에 가장 적합한 제품을 선정 하여 전체를 차폐 처리함.
6	전선	AR	시험시료	자체 제작한 피시험용 케이블

### 3) 갈래형 케이블 하네스의 차폐효과



<그림 18> 갈래형 케이블 하네스의 차폐효과 그래프

<표 4> 각 경로별 차폐효과

측정 경로		길이(m)	최저 주파수 (MHz)	SE (dB)	그래프 경로표시
P <sub>IN-1</sub>	P <sub>OUT-1</sub>	1.0	190.0	53.72	1
P <sub>IN-1</sub>	P <sub>OUT-2</sub>	1.0	260.0	56.69	2
P <sub>IN-1</sub>	P <sub>OUT-3</sub>	1.5	260.0	56.89	3
P <sub>IN-1</sub>	P <sub>OUT-4</sub>	1.5	260.0	55.99	4
P <sub>IN-1</sub>	P <sub>OUT-5</sub>	2.0	68.0	57.45	5
P <sub>IN-1</sub>	P <sub>OUT-6</sub>	2.0	110.0	55.88	6
P <sub>IN-1</sub>	P <sub>OUT-7</sub>	2.5	84.0	59.95	7
P <sub>IN-1</sub>	P <sub>OUT-8</sub>	2.5	84.0	60.52	8
P <sub>IN-1</sub>	P <sub>OUT-9</sub>	2.5	300.0	59.00	9

무기체계 및 전기/전자의 다기능화, 집적화에 따른 멀티케이블 즉, 갈래형

(Branch) 케이블 하네스의 각각의 경로에 따른 차폐효과 값은 배선이 상호 연결된 경로 중 입력(Pin-1)을 선정하고 출력(Pout-1)에서 (Pout-9)까지 차례로 측정된 결과 <표 4: 각 경로별 차폐효과 참고> 측정 길이가 길어지면 차폐효과가 점점 증가됨을 볼 수 있는데 이는 앞서 설명된  $SE=(A+R+B)$  dB의 흡수 감쇠량의 영향에 더 따른 것을 확인 할 수 있으며, 일자형(Straight)은 길이가 길어지면 반사감쇠량에 더 영향을 받아 점점 감소하게 된다.

입력측 최대 10개와 출력측 최대 10개까지를 선정하여 각각의 경로를 측정후 저장하여 케이블 하네스의 전체적인 차폐효과 값이 주어진 규격에 만족하는지 한 페이지 <그림 18> 에서 확인이 가능하며 또한 각각의 경로별 출력이 가능하여 취약 경로와 강화해야 될 경로를 선별하여 EMC에 가장 적합한 케이블 하네스를 제작할 수 있도록 보여주고 있다.

## 6. 케이블 하네스의 결합방법

케이블 하네스에서 커넥터의 구성은 매우복잡하며 다양하다. 이런 다양한 커넥터가 장비상호간 연결 시 전체적인 접촉저항이 낮아야 하며 아무리 좋은 설계가 구성되어도 케이블 하네스의 전체적인 각 구성부품이 EMC에 적합하지 않을 때는 케이블 하네스의 차폐효과를 기대할 수 없다. 이를 통해 <그림 19> 설계단계에서 작업자의 일숨씨까지 제품의 특성을 만족시킬 수 있도록 충분한 준비가 있어야 함을 알 수 있다.



<그림 19> 케이블 하네스의 시스템 결합 구성도

## 7. 결론

EMI/EMC 문제는 전기/전자 장비 및 무기체계에 현대인의 성인병과 같고 제 4의 공해라고 일컬어지고 있다. 산업현장에서 EMI는 로봇의 오동작을 유발하여 인명과 재산의 손실이 발생하며 과학, 첨단 의료장비 또한 주위의 전자기파 간섭에 노출되어 있다.

무엇보다 현대전장에서 무기체계는 가공할 수많은 첨단 전자 장비가 운용되어 감히 인간을 대신한 전자전이라 할 수 있다. 또한 우리 주위에서 보이지 않은 첨단정보위성까지 헤아릴 수 없이 많아 현대의 전쟁은 정보 전쟁이며 정보 전쟁의 근본은 통신운용에 따라 좌우된다. 일반적으로 인체에 유해한 EMI 문제도 중요하지만 군수품의 EMI 문제는 주어진 전자기파의 환경이 더욱 악화 되더라도 유사시의 통신장애는 전술에서 국가 존폐의 위기를 초래 할 수 있다.

전자기파 간섭의 문제는 전체 시스템이 효과적으로 운용될 수 있도록 설계단계에서부터 EMC에 입각하여 설계가 이루어지고 운용 장비가 외부 잡음원에 영향을 받지 않아야 하며 그 자체도 전자기파의 환경에 잡음원이 되지 않도록 하여야 할 것이다.

각종 전기/전자기기 및 무기체계의 EMI/EMC 관련규제와 그에 따른 대책의 발달로 인하여 EMC 문제는 해결되어가고 있지만 케이블 하네스의 차폐방법이나 처리기법은 지금까지 미흡한 실정이며 그 결과를 알 수가 없었다.

전자기파 간섭의 원인과 종류가 헤아릴 수 없이 많지만 전기/전자기기 및 무기체계의 각종시스템을 상호 연결해주는 전원선, 통신선 또는 각종 제어선 즉, 케이블 하네스에 의해 전달되는 것이 대부분이다. 특히 군 무기체계 및 통신시스템에서 케이블 하네스의 EMC 문제는 한 치의 오동작도 용납될 수 없는 천명이며 무기체계의 첩병이라 할 수 있다.

수년간 군 무기체계 및 통신장비의 케이블 하네스를 설계, 제작하면서 반복된 시험과 연구 분석을 통하여 일자형(Straight)과 갈래형(Branch) 케이블 하네스의 EMI 차폐효과 측정방법을 개발하였다.

z이러한 노력이 군 무기체계는 물론 각종 첨단장비의 시스템 운용에 조금이나마 기여할 수 있다면 큰 영광으로 생각하며 보다 더 나은 연구 분석이 이루어져야 할 것으로 생각한다.

## 참고문헌

- [1] 김응조, 최태인, “케이블 하네스의 차폐효과 시험기법 개발”, 국방과학연구소 보고서번호: ATRC-513-92468, 1992.10.
- [2] 민경찬, “노이즈 종합”, 1995.1. pp.151-153
- [3] “숙련도시험 운영기준”, 한국인정기구, KOLAS-R-003, 2007. 04.
- [4] “측정결과의 불확도 추정 및 표현을 위한 지침”, 한국인정기구, KOLAS-R-002, 2007 04.
- [5] “측정방법 및 측정결과의 정확도(진도 및 정밀도)”, 한국표준협회, KS AISO 5725-1~6, 2002~2007. 12.
- [6] “케이블 하네스의 EMI 차폐효과 측정 시험방법의 유효화 보고서”, 연합정밀(주), 2001.02.
- [7] 한국전자파 기술학회, “Electromagnetic Compatibility 용어사전”, 1993.12.
- [8] 하세가와 신, 스기우다 아끼라, 오까무라 마사우, 구로누마 히로시(장학신역) “전자파 장애”, 1997.6, pp.73-77
- [9] KS Q ISO/IEC 17025, “시험 및 교정기관의 자격에 대한 일반요구사항”, 한국인정기구, KOLAS-R-009, 2007.04
- [10] Donald R.J. White and Michel Mardiguian, “Electromagnetic Shielding”, 1988.5, p.1.23, pp.11.56-11.60
- [11] Military Specifcation, MIL-C-85485A(4.7.24) “Surface transfer impedance, effective”, 1994.03.