

제 출 문

본 보고서를 「전자파차폐물질측정방법에 관한 연구」 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2002. 12. .

연구책임자 : 박유식 (전파연구소)

연구 원 : 최기갑 (전파연구소)

박상엽 (전파연구소)

이중일 (전파연구소)

유충현 (전파연구소)

요 약 문

1. 과 제 명 : 전자파차폐물질측정방법 연구
2. 연 구 기 간 : 2002. 1. 1. ~ 2002. 12. 31.
3. 연구책임자 : 박유식
4. 계획 대 진도

가. 월별 추진내용

세부연구내용	연구자	월별 추진일정												비고
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
○ 전자파차폐 표준측정 방법 연구 -국내·외 동향 및 측정방법 조사연구 -각 측정방법 재현 및 실측 검증 -표준측정방법 마련	박유식													
	최기갑 박상엽 이중일 유충현													
○ 차폐물질 효과 측정 및 분석 -국민관심 많은 제품 구매 측정														
분기별 수행진도 (%)		20			30			30			20			

나. 세부 과제별 추진사항

- 1) 국내·외 동향 및 측정방법 조사

○ 국내 및 국외의 차폐물질 측정방법 동향 파악

- IEEE, ASTM, IEC, Mil-Standard 등 국제 차폐 성능 평가 기준 분석
- KS C 0304 등 국내 차폐물질 측정 방법 검토
- 여러 가지 차폐물질 측정방법 비교 검토

2) 차폐물질 차폐효과 측정 및 분석

- o 차폐재료의 성분별 차폐효과 측정 및 분석
 - 전도성, 비전도성별 효과 분석
- o 차폐재료에 두께별 차폐효과 측정 및 분석
 - 차폐성분의 점착방법(코팅, 페인팅, 분사 등)별 효과 분석
- o 주파수 대역별 차폐효과 측정 및 분석

3) 표준 측정방법(안) 마련

- o 여러 가지 차폐물질 측정방법을 검토하고 그 중 재현성이 우수하고, 비교적 측정방법이 간단한 Flange형 동축전송선을 이용한 방법으로 표준 측정방법(안) 마련

5. 연구 결과

1) 국제 및 국내 전자파차폐물질 측정방법 조사 연구

- o IEEE, ASTM, IEC, Mil-Standard, KS 규격 등 국제 및 국내 전자파차폐물질 측정 방법 검토 결과 대부분의 국가에서 평면 재료에 대한 차폐성능 평가는 ASTM(American Society For Testing and Materials : 미국 시험재료협회)에서 제시하고 있는 측정방법을 적용하여 측정하고 있음.

- 여러 가지 전자파차폐물질 측정방법 검토
 - 전자파 차폐실을 이용한 측정방법

- 시간영역에서의 측정방법
 - 이중 TEM Cell을 이용한 측정방법
 - 표면전달 임피던스 측정방법
 - 송·수신 안테나 측정방법
 - 이중챔버를 이용한 측정방법
 - Flange형 동축전송선을 이용한 측정 방법
- 여러 가지 전자파 차폐물질에 대한 측정 방법 검토 결과 재현성이 우수하고, 비교적 간단한 시스템으로 빠르게 차폐성능을 측정할 수 있는 Flange형 동축전송선을 이용한 측정 방법이 가장 우수함.

2) 전자파차폐물질 차폐효과 측정 및 분석

- o 각종 전자파 차폐물질을 Flange형 동축전송선을 이용한 측정 방법을 적용하여 성분별, 두께별, 주파수 대역별로 각각 측정하고 분석함.
 - 측정시스템 분석 및 재현성 검증
 - 차폐재료의 성분별 차폐효과 측정
 - 전도성, 비전도성별 효과 분석
 - 차폐재료에 두께별 차폐효과 측정 및 분석

- 3) 여러 가지 전자파 차폐물질 측정방법을 비교 검토하고 측정한 결과 Flange형 동축전송선 방식의 측정시스템은 일정한 주파수대역 (30MHz ~ 1GHz)에서 비교적 간단하게 차폐성능을 측정할 수 있고, 재현성도 우수함. 이에 전자파차폐성능 표준 측정방법으로 채택하여 적용

6. 기대효과

- o 표준측정방법 정립으로 신뢰성 제고 및 기반기술 발전의 지원
- o 전자파차단 및 흡수재료의 품질 향상 도모
- o 전자파차단 및 흡수재료에 대한 국민 이해 증진

7. 기자재 사용 내역

시설·장비명	규격	수량	용도	보유 현황	확보 방안	비고
Spectrum Analyzer	ESMI	1	스펙트럼 분석	유		
Signal Generator	SMP04	1	정현신호 발생	유		
	SMY01	1				
Power Meter	NRVD	1	전력 측정	유		
Controller	PSM7	1	자동 측정 및 데이터 분석	유		

SUMMARY

1. Subject : The Measurement Method of Shielding Effectiveness for Electromagnetic Shielding Material

2. Period : 2002. 1. 1. ~ 2002. 12. 31.

3. Director of Research : PARK, Yu-Sik

4. Results

1) International, Internal trend of shielding Effectiveness measurement

o The Flanged Coaxial transmission line method [suggested ASTM(American Society For Testing and Materials)] for measuring shielding effectiveness was adopted by most of country.

– Investigation of various shielding effectiveness measurement method

- Shielded Room measurement method
- Time domain measurement method
- Dual TEM Cell measurement method
- Surface transmission Impedance measurement method
- Transmission, Receiving Antenna measurement method
- Measurement method using Dual Chamber
- Flanged coaxial transmission line measurement method

– The Flanged coaxial transmission line measurement method has high reliability and relatively good repeatability, which is a result of investigation of various shielding effectiveness

measurement methods.

2) The measurement and Analysis of Shielding effectiveness

- o The measurement and Analysis of Shielding effectiveness by component, thickness and frequency band

- Analysis of measurement system and Verification of repeatability
- Analysis and measurement of shielding materials by component
- Analysis and measurement of shielding materials by thickness

3) The Flanged coaxial transmission line measurement method has high reliability and relatively good repeatability, which is a result of investigation of various shielding effectiveness measurement methods, so it will adopt the standard of shielding Effectiveness measurement method for shielding materials.

목 차

표 목 차	21
그림목차	22
제1장 서론	25
제 2 장 전자파차폐성능 측정방법	27
제 1 절 관련이론	27
제 2 절 전자파차폐실	41
제 3 절 시간영역에서의 측정방법	41
제 4 절 이중 TEM Cell 측정방법	43
제 5 절 표면전달임피던스 측정방법	45
제 6 절 송수신 안테나 측정방법	49
제 7 절 이중챔버 측정방법	50
제 8 절 Flange형 동축전송선 측정방법	51
제 3 장 전자파차폐성능 측정시스템 구현	57
제 1 절 측정치구분석	57
제 2 절 측정시스템의 주파수 특성	61
제 3 절 전자파차폐성능 측정시스템 구성	62
제 4 절 측정시료규격	63
제 5 절 전자파차폐성능 측정시스템의 재현성	64
제 4 장 Flange형 동축전송선을 이용한 측정결과	67

제 1 절 측정대상 및 재료별 차폐성능	67
제 2 절 구성성분별 차폐성능	68
제 3 절 합성섬유의 두께별 차폐성능	73
제 5 장 전자파 차폐물질 차폐성능 측정방법	75
제 6 장 결론	81

표 목 차

표 2-1	차폐성능측정방법비교표	56
표 4-1	측정대상	67
4-2	재료별 차폐성능	68
4-3	직물의 차폐성능	69
4-4	금속의 차폐성능	70
4-5	혼합물질의 차폐성능	71
4-6	기타물질의 차폐성능	72
4-7	합성섬유의 두께별 차폐성능	73

그 립 목 차

그림 2-1	평면파에 대한 차폐현상 그림	30
그림 2-2	차폐효과를 설명하는 금속평면의 기하학적 모형	31
그림 2-3	전자파차폐실을 이용한 측정방법	41
그림 2-4	시간영역에서의 차폐효과 측정	42
그림 2-5	이중템셀의 구조	44
그림 2-6	이중템셀을 이용한 측정구성도	44
그림 2-7	측정시료의 치수	45
그림 2-8	전달임피던스 측정치구	46
그림 2-9	DC 등가회로	46
그림 2-10	측정시스템 구성도	48
그림 2-11	송수신안테나 측정법 구성도	49
그림 2-12	이중챔버의 구성도	50
그림 2-13	Flange형 동축전송선 단면도	52
그림 2-14	Flange형 동축 측정치구 등가회로	52
그림 3-1	측정치구 사진	57
그림 3-2	측정치구 단면도	58
그림 3-3	이상적인 등가회로	58
그림 3-4	측정시스템의 주파수 특성	62
그림 3-5	전자파차폐성능 측정시스템 구성도	63
그림 3-6	측정시료 규격	63
그림 3-7	폴리카보네이트에 구리를 진공증착	64
그림 3-8	면,구리,폴리에스터 합성섬유	65
그림 3-9	카본섬유	66
그림 4-1	측정대상 분포도	67
그림 4-2	직물의 차폐성능	68
그림 4-3	금속의 차폐성능	70

그림 4-4	혼합물질의 차폐성능	71
그림 4-5	기타물질의 차폐성능	72
그림 4-5	합성섬유의 두께별 차폐성능	73
그림 5-1	기본 측정 장치 구성	76
그림 5-2	시료지지대의 구조	77
그림 5-3	측정 시료의 규격	78

제1장 서론

현재 국내 시장에는 전자파를 차폐시켜 준다는 상품이 많이 나와 있다. 그리고 국민들이 전자파에 대한 막연한 공포감을 느끼고 어떠한 물질이 전자파 차폐에 효과적인가에 대한 궁금증이 증대하고 있는 실정이다. 하지만 현재 전 세계적으로나 국내에서도 확실하게 인정받고 합의된 전자파 차폐 성능 측정 방법에 대한 규격은 없는 실정이고 그나마 평면파에 대한 전자파 차폐 성능 측정 방법은 몇 가지 정도 제안된 상태이다.

이에 전자파 차폐 성능의 측정에 신뢰성을 확보하기 위한 표준 측정 방법의 정립이 시급히 요구되고 있어 이러한 차폐 물질에 대한 표준 측정 방법을 마련하여 측정 신뢰성 제고 및 관련 업체 등에 측정 기술을 지원하고 관련 산업 육성을 도모하는 것이 본 연구의 목표이다.

최근 전자파에 대한 관심과 더불어 정보 보호와 전자파 장해 방지 및 내성 강화를 위하여 전자파 차폐에 대한 중요성이 강조되고 있다. 이에 따라 많은 종류의 차폐 재료가 개발되고, 차폐 방법에 대한 많은 연구가 진행 중이다. 이에 대한 산업 지원과 전자파 대책을 확보하기 위한 차폐 성능 표준 측정 방법의 개발과 측정의 신뢰성 확보가 요구되고 있다.

재료의 차폐 성능(shielding effectiveness)이라고 하는 것은 전파하는 전자기장의 세기를 감소시키는 재료의 성질을 말한다. 차폐는 외부 Source로부터의 방해(Interference)를 막거나 내부 source에 기인하는 원치 않는 방사(Radiation)의 누설을 피하기 위하여 영역을 분리시키는데 이용된다. 초기의 차폐는 전자기적인 특성을 알고 있는 금속을 사용해 왔지만 근래에는 금속 재료에 비해 값이 싸고 가벼우며 가공하기가 쉬운 플라스틱 재료 및 복합 재료, 특수 재료 등이 개발되어 제품의 외장재 및 내장재, 심지어는 의복(앞치마, 모자 등) 등에도 사용되고 있다.

이러한 복잡한 재료는 금속 재료와 달리 전기적 특성을 명확히 알 수 없기 때문에 재료의 전자파 차폐 효과를 이론적으로 예측할 수 없고, 측정에 의해

서만 그 성능이 파악되는 어려움이 있다. 이에 많은 산업체에서 전자파 차폐 성능 측정법에 관심을 기울이기 시작했고, 현재 연구되고 있는 차폐 성능 측정 방법은 MIL-STD-285, 동축 전송선 측정 시스템을 이용한 방법, 이중 TEM 셀을 이용한 방법, 시간영역 방법 등이 있다. 미국 국립 표준과학 기술원(NIST : National Institute of Standards and Technology)에서 개발한 동축 전송선 측정 시스템을 이용한 방법은 ASTM(American Society for Testing and Materials):D4935-99의 규격 측정 방법으로 채택되어 있으며, 이 측정방법은 비교적 재현성이 높고, 신뢰성이 높은 측정 결과를 얻을 수 있어서 차폐물질의 far-field 차폐 성능 측정에 많이 이용되고 있다

이에 본 연구에서는 국내·외 동향 및 여러가지 차폐물질 측정방법을 조사하고 각 측정방법을 비교 검토하여 신뢰성 있는 전자파차폐효과 측정이 이루어 질 수 있도록 측정이 용이하고 재현성이 우수한 표준측정방법을 제시하고자 한다.

제2장 전자파차폐성능 측정 방법

제1절 관련이론

전자파는 공중으로 전파하는 파동 에너지로 전파, 적외선, 가시광선, 자외선 및 X선을 포함하는 전기장과 자기장으로 이루어진 파동을 말하며, 공간의 한 점에서의 전자파의 임피던스는 전기장과 자기장의 세기의 비($Z_w = E/H$)로 표현된다.

전자기파 발생원(안테나)으로부터의 거리에 따라 전자기파의 특성이 달라지는데, 안테나로부터의 거리(r)가 $\lambda/2\pi$ (λ 는 파장) 보다 가까운 경우를 Near Field, 먼 경우를 Far Field 라고 하며 전파원으로부터의 거리에 따른 임피던스 관계에 따라 Near Field에는 고임피던스인 전기장과 저임피던스인 자기장이 있고 Far Field은 평면파로 되어 있다.

Far Field의 경우 전자파 임피던스(자유 공간인 경우 $\eta_0 = \frac{E}{H} = 120\pi [\Omega]$)는 전기장과 자기장에서 동일하나, Near Field에서는 전파 발생원의 특성과 전자기장이 관측되는 지점까지의 거리에 따라 변하게 된다. 만약 전파 발생원이 낮은 전압으로 많은 전류를 흘리는 루프 안테나이면 전자파 임피던스가 자유 공간의 파동 임피던스 Z_0 보다 훨씬 작아져 Far Field의 경우보다 자기장의 성격이 더 강해진다. 그러나 전파원이 Dipole 안테나와 같이 높은 전압으로 적은 전류를 흘릴 때는 전자파 임피던스가 자유 공간의 파동 임피던스보다 훨씬 더 커지게 되고 Far Field의 경우보다 전기장의 성격이 더 강해진다. 이러한 전자파의 임피던스는 전자파의 관측 지점이 전파원으로부터 멀어짐에 따라 점차 자유 공간의 파동 임피던스 Z_0 의 값으로 접근하게 된다. 공간의 어떤 지점에서의 전자기장의 세기를 경우에 따라 전기장의 세기[V/m], 자기장의 세기[A/m], 전력 밀도[W/m²]로 나타낼 수 있다. 보통 자기장의 세기는 주로 30MHz 이하의 낮은 주파수에서 측정하고 전기장의 세기는 1GHz 이하의 주파수 영역에서 측정하며, 전력밀도는 500MHz 이상의 초고주파 및 마이크로파 대

역에서 주로 측정한다.

불요 전자파 발생원으로부터 나오는 전자파 에너지를 감소시키는 차폐 성능이 어느 정도 좋은지를 나타내는 지수를 차폐 효과(Shielding Effectiveness:SE)라 하며 다음과 같이 나타낸다.

$$SE_{dB} = 10\log\left[\frac{P_i}{P_o}\right] \quad (1-1)$$

여기서,

P_i = 차폐가 되기 전 측정점에서의 전력 밀도

P_o = 차폐가 된 후 측정점에서의 전력 밀도

위 식은 손실로써 정의되므로 SE는 항상 양(+)의 값을 갖고, 전자파 차폐 메커니즘(흡수, 반사, 내부 다중반사 등)에 관계없이 단지 입사하는 전자파에 대해 투과되어 전달되는 전자파의 비로 표현됨을 알 수 있다.

[W/m²]의 단위를 갖는 전력 밀도는 전기장 E(V/m)와 자기장 H(A/m)의 곱으로 표현될 수 있기 때문에 SE는 다음과 같이 쓰여질 수 있다.

$$SE_{dB} = 10\log\left[\frac{E_b \cdot H_b}{E_a \cdot H_a}\right] \quad (1-2)$$

여기서, E_b, H_b = 차폐를 하기 이전의 전기장 E와 자기장 H의 값

E_a, H_a = 차폐를 한 이후의 전기장 E와 자기장 H의 값

과동 임피던스가 차폐 전후와 같다면[즉, 차폐 평면 장벽의 감쇠가 전기장과 자기장에 대해서 동일하거나 또는 발생하는 계가 안정계(Stable Field) 조건하에서 차폐로부터 Far Field(Far Field : $r \gg \lambda/2\pi$)이 성립하는 거리에서 측정된다면] 다음과 같은 식이 성립된다.

$$H_b = \frac{E_b}{Z_w} \text{ 이고 } H_a = \frac{E_a}{Z_w} \quad (1-3)$$

그래서,

$$SE_{dB} = 10 \log \frac{\frac{E_b^2}{Z_w}}{\frac{E_a^2}{Z_w}} = 10 \log \frac{E_b^2}{E_a^2} = 20 \log \frac{E_b}{E_a} \quad (1-4)$$

그러므로 안정계 조건에서 전력밀도나 계에 관해서 SE를 측정하면 결과가 같아진다.

전기장과 자기장이 같은 파동임피던스를 갖는 매질에서 측정된다면 계의 크기에 관해서 차폐 성능은 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$SE_{dB} = 20 \log \frac{E_b}{E_a} \quad \text{전기장에 관한 식} \quad (1-5)$$

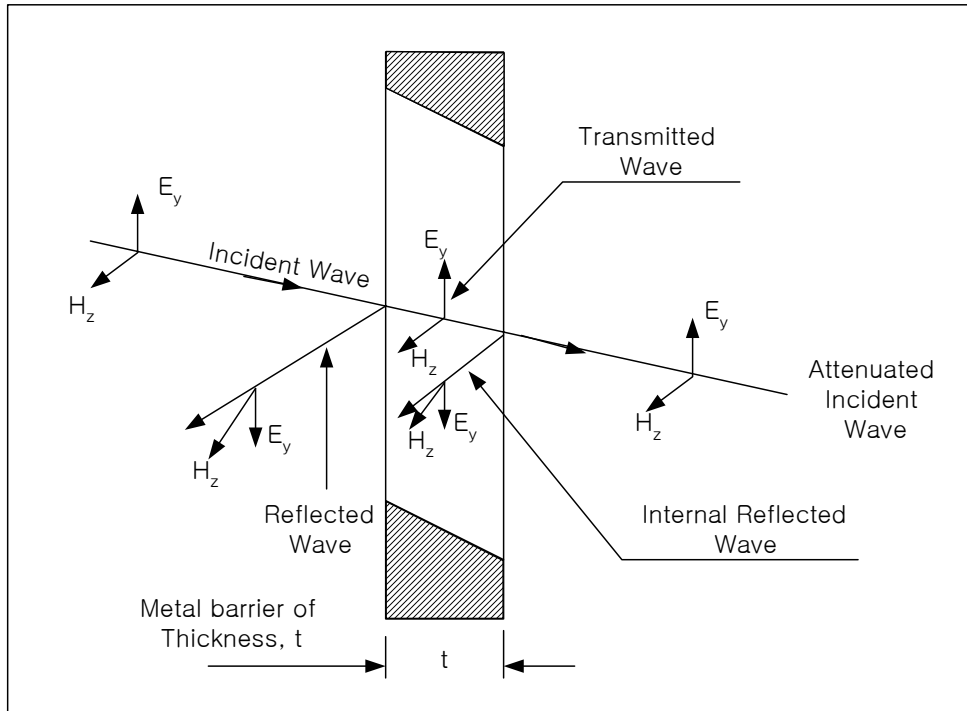
$$SE_{dB} = 20 \log \frac{H_b}{H_a} \quad \text{자기장에 관한 식} \quad (1-6)$$

여기서, E_b : 차폐물질이 설치되기 이전의 전기장의 세기
 E_a : 차폐물질이 설치된 이후의 전기장의 세기
 H_b : 차폐물질이 설치되기 이전의 자기장의 세기
 H_a : 차폐물질이 설치된 이후의 자기장의 세기

앞의 두 식은 Far Field에서는 결과가 같지만, Near Field에서는 파동임피던스가 다르기 때문에 SE_{dB} 가 같지 않다.

아래 그림 2-1에 차폐효과를 결정하기 위한 개념적인 메커니즘이 나타나 있다. 세부적인 것은 그림 2-2에 나타나 있다. 입사계의 크기(여기서는 전계를 기준)를 자체에 대한 상대적 값으로 1이라 놓으면 반사계는 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{1 - K}{1 + K} = -1 & (K \gg 1) \\
 &= 0 & (K = 1) \\
 &= +1 & (0 \leq K \ll 1)
 \end{aligned} \tag{1-7}$$



<그림 2-1 평면파에 대한 차폐 현상 그림>

여기서,

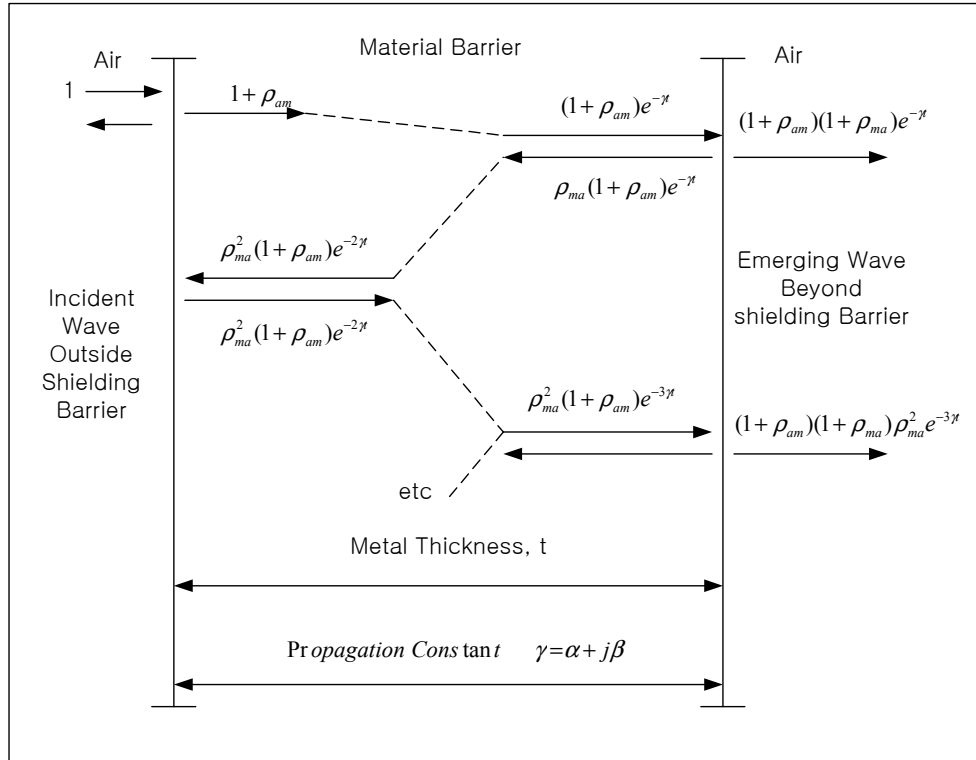
$$K = \frac{Z_w}{Z_m}$$

Z_w = 파동임피던스, Z_m = 금속 임피던스

그리고,

$$\rho_{am} = \frac{1 - K}{1 + K} \quad (1-8)$$

= 공기에서 금속 경계면으로의 반사 계수(공기에서 금속으로 전파)



<그림 2-2 차폐효과를 설명하는 금속평면의 기하학적 모형>

$$\rho_{ma} = \frac{1 - K}{1 + K} \quad (1-9)$$

= 금속에서 공기 경계면으로의 반사 계수
(금속에서 공기로 전파)

K 항은 식 (1-7)에서

$$\frac{Z_w}{Z_m} \geq 1$$

에 대한 전압 정재파비(Voltage Standing-Wave Ratio : VSWR)이다. 금속 차폐물질의 왼쪽면으로 통과한 상대적인 계 Γ_{am} 은 다음과 같다.

$$\Gamma_{am} = 1 + \rho_{am} \quad (1-10)$$

이 계는 금속 장벽의 두께를 통과할 때 감쇠를 나타내는데 금속 장벽은 그 손실을 열로 바꾼다. 금속 장벽의 오른쪽면에 도달하는 계 Γ_{AR} 은 더 작게 된다.

$$\Gamma_{AR} = \Gamma_{am} e^{-\gamma} = e^{[-(\alpha + j\beta)t]} \Gamma_{am} = e^{[-(\alpha + j\beta)t]} (1 + \rho_{am}) \quad (1-11)$$

여기서,

$$\gamma = \text{전파상수} = \alpha + j\beta$$

$$\alpha = \text{감쇠상수}$$

$$\beta = \text{위상상수} = 2\pi/\lambda$$

$$t = \text{금속 두께}$$

그림 1-2 의 금속에서 공기로 향한 차폐장벽의 오른쪽면 안쪽에서 왼쪽으로 재반사된 상대적인 계의 크기 Γ_{RR} 은 다음과 같다.

$$\Gamma_{RR} = \rho_{ma} \Gamma_{AR} = e^{-\gamma} \rho_{ma} (1 + \rho_{am}) \quad (1-12)$$

여기서, ρ_{ma} = 금속에서 공기로의 반사계수

금속 장벽 오른쪽 바깥으로 통과하는 상대적인 계 Γ_{RT} 는 다음과 같다.

$$\Gamma_{RT} = \Gamma_{AR} + \rho_{ma} \Gamma_{AR} = e^{-\gamma} (1 + \rho_{am})(1 + \rho_{ma}) \quad (1-13)$$

식 (1-12)는 $\gamma \gg 1$ 일 때 이득(음수)으로서 표현된 차폐효과 이다.

전파상수가 차폐효과에 크게 영향을 미치지 않을 때, 한번 또는 그 이상으로 금속 장벽 내부를 왕복하는 재반사(rereflection)가 고려되어야 한다. 예를 들면, 식 (1-11)의 재반사계(rereflection field)는 또 다시 감쇠를 하게 되고 그림 1-2의 금속 장벽 왼쪽면을 향해서 되돌아 전파할 때 위상 천이(Phase shift)는 다음과 같아진다.

$$\Gamma_{LR} = \Gamma_{RR} e^{-\gamma} = e^{-2\gamma} \rho_{ma} (1 + \rho_{am}) \quad (1-14)$$

전파가 금속 장벽의 오른쪽면 안쪽에 도달할 때 이 재반사계는 또 한번의 감쇠와 위상 천이가 일어나게 되고 상대적 계의 크기 Γ'_{AR} 은 다음과 같이 된다.

$$\Gamma'_{AR} = \Gamma_{LL} e^{-\gamma} = e^{-3\gamma} \rho_{ma}^2 (1 + \rho_{am}) \quad (1-15)$$

마지막으로 금속장벽 오른쪽면 바깥으로 통과하는 성분 Γ'_{RT} 는 다음과 같이 된다.

$$\Gamma'_{RT} = (1 + \rho_{ma}) \Gamma'_{AR} = e^{-3\gamma} \rho_{ma}^2 (1 + \rho_{am})(1 + \rho_{ma}) \quad (1-16)$$

식 (1-15)의 재반사계 성분이 식 (1-12)의 금속장벽을 직접 통과한 계와 시 · 공간적으로 위상이 일치(coherent)하기 때문에 두 식은 동위상적으로 더해진다. 그러므로, 통과계수(Transmission coefficient) Γ_T 와 같은 전체 통과 계는 다음과 같다.

$$\Gamma_{LT} = e^{-\gamma} (1 + \rho_{am})(1 + \rho_{ma}) \left[\overbrace{1 + \rho_{ma}^2 e^{-2\gamma} + \rho_{ma}^4 e^{-4\gamma} + \dots}^{\text{다중왕복 왕복 (재반사)}} \right] \quad (1-17)$$

$\underbrace{\hspace{1.5cm}}_{\text{첫번째 왕복 (재반사)}}$

대괄호 안에 있는 항들은 무한 급수 즉, 무한한 재반사로 구성된다. 식(1-16)은 다음과 같이 간단하게 쓸 수 있다.

$$\Gamma_T = e^{-\gamma} (1 + \rho_{am})(1 + \rho_{ma})(1 - \rho_{ma}^2 e^{-2\gamma})^{-1} \quad (1-18)$$

식 (1-8)과 식(1-9)를 대입하면 식 (1-18)은 공기-금속, 금속-공기 경계면의 임피던스 비로 표현될 수 있는데 이는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \Gamma_T &= e^{-\alpha} \left(\frac{2}{1+K} \right) \left(\frac{2K}{1+K} \right) \left[1 - \left(\frac{K-1}{K+1} \right)^2 e^{-2\gamma} \right]^{-1} \\ &= \underbrace{e^{-\alpha}}_{\text{흡수 항(A)}} \underbrace{\frac{4K}{1+K^2}}_{\text{반사 항(R)}} \underbrace{\left[1 - \left(\frac{K-1}{K+1} \right)^2 e^{-2\gamma} \right]^{-1}}_{\text{재반사 보정 항(B)}} \end{aligned} \quad (1-19)$$

이득 보다는 손실(즉, SE)로서 식(1-19)를 표현하고 그것을 데시벨로 변환하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} SE_{dB} &= 20 \log \left(\frac{1}{\Gamma_T} \right) \\ &= 20 \log \left\{ e^{-\alpha} \frac{(1+K)^2}{4K} \left[1 - \left(\frac{K-1}{K+1} \right)^2 e^{-2\gamma} \right] \right\} \end{aligned} \quad (1-20)$$

여기서,

$$\text{흡수손실, } A_{dB} = 8.686 \alpha \quad (1-21)$$

$$\text{반사손실, } R_{dB} = 20 \log \left[\frac{(1+K)^2}{4K} \right] \approx 20 \log \frac{Z_W}{4Z_{in}} \quad (K \geq 10) \quad (1-22)$$

$$\text{재반사 보정, } B_{dB} = 20 \log \left| 1 - \left(\frac{K-1}{K+1} \right)^2 e^{-2\gamma} \right| \quad (1-23)$$

1. 흡수 손실

식 (1-21)은 다음과 같이 전개 될 수 있다.

$$A_{dB} = 8.686 \alpha t = 8.686 t \sqrt{\pi f \mu \sigma} \quad (1-24)$$

여기서,

$$\begin{aligned} \gamma &= \alpha + j\beta = \sqrt{j\omega\mu(\sigma + j\omega\epsilon)} \\ &= \sqrt{j\omega\mu\sigma} \quad (\because \text{금속인 경우 } \sigma \gg \omega\epsilon) \\ &= (1+j)\sqrt{\pi f \mu \sigma} \end{aligned} \quad (1-25)$$

$$\text{또는, } \alpha = \beta = \sqrt{\pi f \mu \sigma} \quad (\text{금속인 경우}) \quad (1-26)$$

그러므로 A_{dB} 는

$$A_{dB} = 131.4 t_{mm} \sqrt{f_{MHz} \mu_r \sigma_r} \quad [dB] \quad (1-27)$$

여기서, μ_r 과 σ_r 은 각각 구리를 기준으로 했을 대의 비투자율과 비전도도이다.

따라서 전자파 차폐를 위해 사용하고자 하는 재료의 흡수 손실은 재료의 두

께에 대해 재료의 비전도도와 비투자율에 따라 결정됨을 알 수 있다. 대부분의 금속 재료에서 높은 전도도를 가지는 경우는 비교적 낮은 비투자율을 가지며, 비교적 높은 비투자율을 가지는 재료는 상대적으로 낮은 도전율을 가지는 경우가 보통이다. 주어진 두께에 대해 철과 같은 자성 재료는 구리나 은과 같은 비자성 재료보다 큰 흡수 손실을 가지며, 일반적으로 입사하는 전자기파의 주파수가 증가함에 따라 흡수 손실이 증가하게 된다.

2. 반사 손실

반사 손실 관계식은 금속 장벽 경계면에서의 임피던스 부정합(Impedance Mismatch)에 의해 나타난다. 그러므로 파동임피던스 Z_w 를 $k\sqrt{\mu/\epsilon}$ (120 π)으로 대치하고 금속의 임피던스 Z_m 을 $\sqrt{\pi f \mu / \sigma}$ 으로 대치하면 다음과 같이 된다.

$$K = \frac{Z_w}{Z_m} = \frac{k\sqrt{\mu_0/\epsilon_0}}{(1+j)\sqrt{\pi f \mu / \sigma}} \quad (1-28)$$

여기서,

$$k = \frac{\lambda}{2\pi r} = \frac{1}{2\pi r f \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \quad (\text{고임피던스 전계의 경우}) \quad (1-29)$$

$$k = \frac{2\pi r}{\lambda} = 2\pi r f \sqrt{\mu_0 \epsilon_0} \quad (\text{저임피던스 자계의 경우}) \quad (1-30)$$

$$= 1 \quad (\text{Far Field의 경우, } r \geq \lambda/2\pi) \quad (1-31)$$

식(1-28)부터 (1-31)까지 조합하면 다음과 같이 된다.

$$K = \frac{1}{2\pi r f \epsilon_0 \sqrt{2\pi f \mu / \sigma}} \quad (\text{고임피던스 전계의 경우}) \quad (1-32)$$

$$K = r \sqrt{2\pi f \sigma \mu_0 / \mu_r} \quad (\text{저임피던스 자계의 경우}) \quad (1-33)$$

$$K = \frac{1}{\sqrt{2\pi f \mu_r \epsilon_0 / \sigma}} \quad (\text{평면파의 경우}) \quad (1-34)$$

식(1-22)의 반사 손실 항은 파동 임피던스와 금속 장벽 임피던스에 대해서 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} R_{dB} &= 20 \log \frac{(1+K)^2}{4K} \\ &= 20 \log \frac{K}{4} = 20 \log \frac{Z_w}{4Z_m} \quad (K \gg 1) \end{aligned} \quad (1-35)$$

그러므로, 식(1-32)부터 식(1-34)까지의 식들을 식 (2-35)에 대입하면 다음과 같다.

(고임피던스) 전계

고임피던스를 가지는 Near Field의 경우, 평면파에 비해 전기장의 성격이 강하게 나타나며, 입사하는 전자파의 반사손실은 아래 식과 같다. 높은 전도도를 갖는 재료일수록 전기장의 반사손실은 커지며, 따라서 좋은 성능의 전자파 차폐효과를 얻을 수 있다. 그러나 이러한 반사손실은 주파수가 증가함에 따라 줄어들게 된다.

$$R_{dB} \approx 141.7 - 10 \log \left(\frac{\mu_r f_{MHz}^3 r_m^2}{\sigma_r} \right) \quad [dB] \quad (1-36)$$

여기서, r_m = meter를 단위로 하여 측정한 전원에서 장벽까지 거리

(저임피던스) 자계

저임피던스를 갖는 Near Field의 경우, 평면파에 비해 자기장의 성격이 강하게 나타나며, 입사하는 전자파의 반사손실은 아래 식에 의해 결정된다.

$$R_{dB} \approx 74.6 - 10 \log \left(\frac{\mu_r}{f_{MHz} \sigma_r r_m^2} \right) [dB] \quad (1-37)$$

일반적으로 자기장의 차폐는 주파수가 증가하여 평면파가 될 때까지 주파수가 증가함에 따라 증가하며, 낮은 주파수에서 흡수손실과 반사손실 모두 작은 값을 가진다. 그러나 흡수 손실은 차폐재료의 두께를 모두 두껍게 하고 높은 비투자율을 갖는 재료를 사용함으로써 증가시킬 수 있다. 주파수가 낮아질 수록 자성 재료에 의해서만 자기장을 차폐할 수 있으며, 높은 주파수에서는 반사 손실과 흡수 손실 모두 증가하므로 재료의 선택은 그리 중요하지는 않다.

(Far Field의 조건을 만족하는) 평면파

$$R_{dB} \approx 108.1 - 10 \log \left(\frac{\mu_r f_{MHz}}{\sigma_r} \right) [dB] \quad (1-38)$$

($r \gg \lambda/2\pi = 47.8/f_{MHz}$ 이면 r 에 무관한다)

평면파에 대한 반사 손실은 차폐 재료의 비전도도에 비례하며, 낮은 주파수에서 크고 주파수가 증가함에 따라 줄어든다. Near Field에서는 전파원의 종류에 따라 전기장 또는 자기장의 효과가 상대적으로 커지게 되며, 이들 각각의 경우를 따로 구별해서 취급해야 한다. 주어진 두께에 대해 차폐 재료의 특성 임피던스는 재료의 전도도에 대한 비투자율의 비에 직접적으로 관계된다. 따라서 입사하는 전자파의 임피던스와 차폐 재료의 임피던스의 차가 커

지면, 커질수록 반사는 커지고, 좋은 차폐 성능을 가지게 된다.

3. $K \gg 1$ 인 경우에 대한 전체 손실

몇가지 조건하에서, 식 (1-20)은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$SE_{dB} = 20 \log \left\{ e^{-t/\delta} \frac{(1+K)^2}{4K} \left[1 - \left(\frac{K-1}{K+1} \right)^2 e^{-2t/\delta} \right] \right\} \quad (1-39)$$

여기서, $1/\delta = \gamma/\sqrt{2} = \alpha = \sqrt{\pi f \mu \sigma}$ 이다.

금속 장벽 임피던스와 파동 임피던스가 부정합된 조건, 즉 $K \gg 1$ 인 경우에 식 (1-39)는 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} SE_{dB} &= 20 \log \left\{ e^{-t/\delta} \frac{K}{4} [1 - e^{-2t/\delta}] \right\} \quad (K \gg 1) \\ &= 20 \log \left\{ e^{-t/\delta} \frac{K}{4} [1 - e^{-2t/\delta} e^{-j2t/\delta}] \right\} \end{aligned} \quad (1-40)$$

t/δ (또는 t/δ) 가 매우 작을 때 (즉, $t/\delta \ll 1$ 일 때) 식 (1-40)의 지수항은 멱급수로 전개될 수 있으며 단지 처음 두 항만이 남게되어 그 결과는 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} SE_{dB} &= 20 \log \left[e^{-t/\delta} \left| \frac{K}{4} (2\sqrt{2} t/\delta) \right| \right] \\ &\approx 20 \log \left[(1 + t/\delta) \frac{K\sqrt{2} t/\delta}{2} \right] \\ &\approx 20 \log(0.707 K t/\delta) \quad (t/\delta \ll 1 \text{ 이고 } K \gg 1) \end{aligned} \quad (1-41)$$

식 (1-41)의 t/δ 항은 $t/\delta \ll 1$ 인 경우에 대한 금속 임피던스를 포함하는 금속 장벽 임피던스 $Z_B = \frac{Z_m}{[1-(1-t/\delta)]}$ 와 비교될 수 있다. 식 (1-41)은 금속 두께가 어느 주파수에서나 표피 두께에 비해 매우 작을 때만 적용되는 식이다. 반면, $t/\delta \gg 1$ 일 때 식 (1-40)은 다음과 같이 된다.

$$SE_{dB} = 20 \log \left(K \frac{e^{t/\delta}}{4} \right) \quad (t/\delta \gg 1, K \gg 1) \quad (1-42)$$

$\delta = \frac{\sqrt{2}}{\sigma |Z_m|}$ 의 관계식을 사용하고, K를 $k \frac{377}{Z_m}$ 으로 고치면 식(1-41)은 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} SE &= 20 \log \left(0.707 k \frac{377}{Z_m} t \frac{\sigma Z_m}{\sqrt{2}} \right) \\ &= 20 \log(188.5 k \sigma t) \end{aligned} \quad (1-43)$$

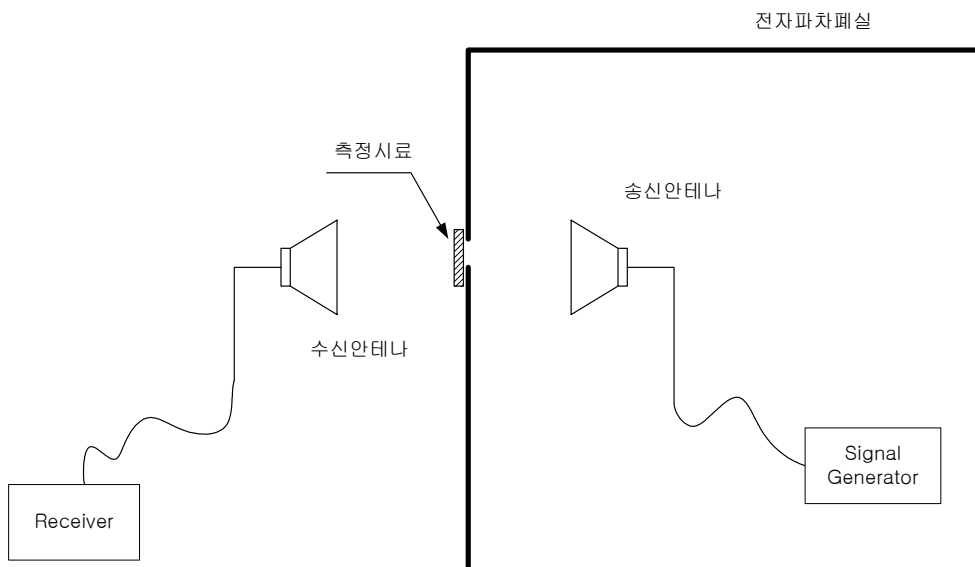
$\sigma = \sigma_{\text{copper}} \times \sigma_r$ 과 $\sigma_{\text{copper}} \approx 10^6/1.8$ (mho/cm)를 적용하면 다음과 같이 된다.

$$SE = 160.8 + 20 \log k \sigma_r t_{cm} \quad (t/\delta < 0.74 \text{ 이고 } K \geq 10) \quad (1-44)$$

식 (1-44)에 의해서 대단히 얇은 차폐물 (또는 도체 코팅)에 대한 차폐효과는 차폐물의 두께 t 가 표피두께 δ 보다 작으면 Far Field($k=1$)에서 처럼 주파수에 무관하게 된다는 것을 알 수 있다. 이것은 주파수가 증가할 때 재 반사 항은 감소하나 표면 저항이 증가한다는 사실에 의한 것이다. 여기서 차폐효과는 필름 두께가 표피 두께에 접근할 때 까지 계속 되는데 거기에서 차폐효과는 지수 함수적으로 증가하기 시작한다.

제2절 전자파 차폐실

전자파 차폐실에서의 차폐효과 측정은 MIL-STD 285에 상세하게 기술하고 있는 절차에 근거를 둔 것이다. 차폐실은 외부의 신호원이나 수신기로부터 전자장비를 분리시키는데 이용된다. 측정 시스템은 차폐실 내·외부에 안테나를 설치하여 구성하며, 두 개의 안테나는 차폐실의 한 쪽 벽면에 위치한 window를 경유하여 결합한다. 수신 안테나는 window 중앙에 똑바로 위치하며, 송신(내부)안테나의 위치는 차폐효과 곡선을 그리는 동안은 고정되어 있어야 하지만 변경될 수는 있다. 피측정재료는 window를 덮어 씌울 만큼 충분히 커야 하고 차폐실의 외벽에 붙여져야 하며, 피측정재료와 차폐실 벽 사이의 전기적인 접촉과 피측정재료의 지지를 위해 황동고리가 사용된다. 이 시스템의 동작영역은 80 ~ 90dB이다.



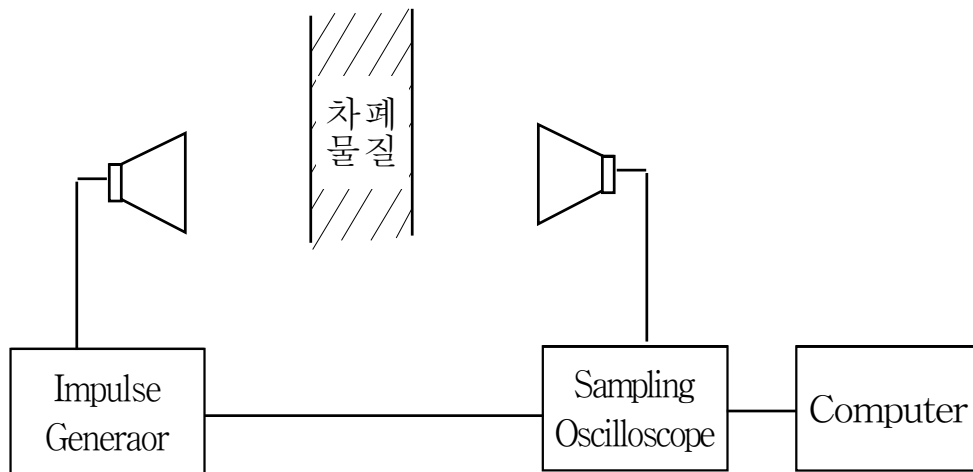
<그림 2-3 전자파차폐실을 이용한 측정 방법>

제3절 시간영역에서의 측정방법

펄스(시간영역) 신호원은 신호의 짧은 지속시간이 직·간접(회절된) 경로를 구별할 수 있도록 하기 때문에 차폐효과 측정에 있어서 많은 관심을 끌고

있다. 효율적인 FFT 연산의 이용은 CW 신호원을 이용하여 얻어진 데이터를 비교하기 위하여 시간영역의 데이터를 주파수영역의 데이터로 변환한다. 원하는 직접경로 신호의 도달과 원치 않는 간접경로의 첫 번째 신호 사이의 간격을 clean time으로 정의한다.

Clean time이 길수록 더 넓은 범위의 주파수를 포함한다. 그림 1-1에 시간영역에서의 차폐효과 측정시스템을 나타낸 것처럼, 입력으로서 350 ps의 펄스를 가지는 피측정재료로부터 30 cm 떨어진 TEM 혼 안테나를 사용한다. 160 MHz 이상에서, 안테나가 피측정재료로부터 $\lambda/2\pi$ 떨어져 있다면 직접경로의 전자기장은 평면파가 된다. 안테나가 Near Field 내에 놓여 있다면 피측정재료가 송신 안테나 자체에서 가질 수 있는 임피던스 부하효과 뿐만 아니라 입사 전자기장의 형태를 예견하기가 어렵다.



<그림 2-4 시간영역에서 차폐효과 측정>

상한주파수 한계는 3.5 GHz이며, 하한주파수 한계는 clean time과 Far Field 조건에 의하여 결정되고, 약 200 MHz이다. 더 짧은 펄스를 사용하면 상한 주파수의 한계를 확장시킬 수 있다. 이 방법의 동작영역이 50 ~ 60 dB이기 때문에 상당히 양호한 차폐재료에는 적용할 수 없다. FFT는 시간영역의 신호를 주파수영역의 신호로 매우 빠르게 변환시키기 때문에 피측정재료를 설치하는데 필요한 시간이 측정 시간을 결정하는데 중요한 인자가 된다.

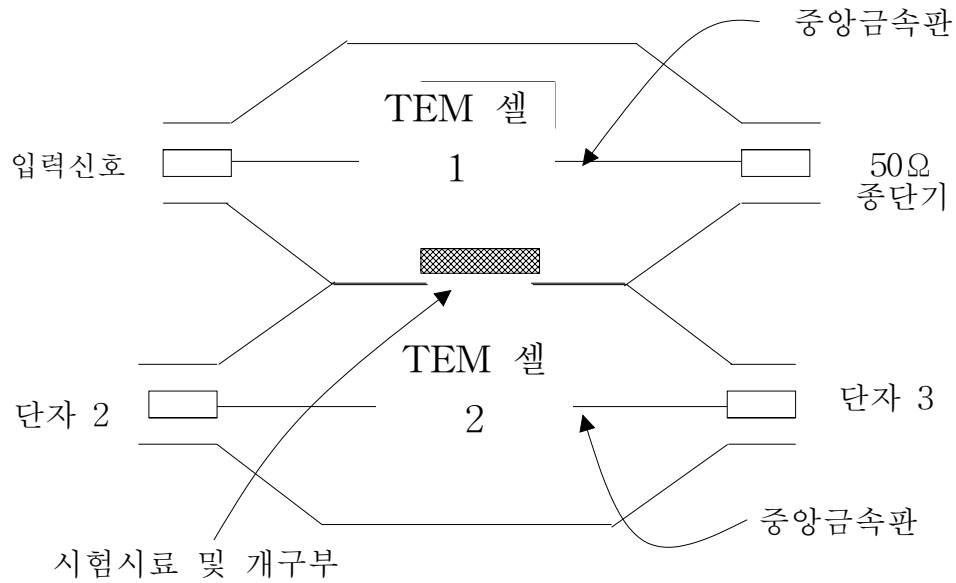
제4절 이중템셀(TEM Cell) 측정법

TEM Cell은 보통 50Ω 동축선로를 정합시키기 위하여 양쪽 끝이 가늘어 지는 확장(Tapered)된 50Ω 직사각형의 동축선로이다.(RCTL)

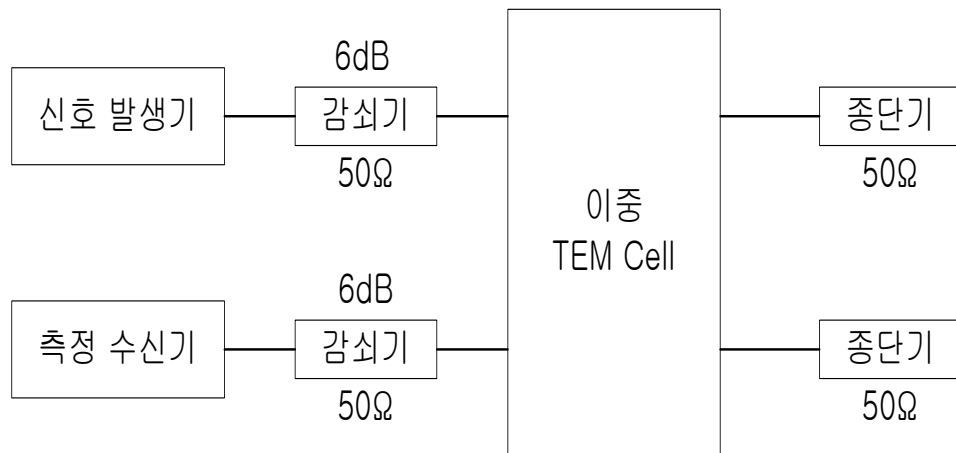
이중템셀은 감지포트를 구별하여 전기장과 자기장 결합을 분리시킬 수 있는 유일한 치구로써 Near Field 차폐특성을 얻을 수 있다. 전기장 벡터는 시료면에 수직한 방향이고, 자기장 벡터는 시료면에 평행한 방향이므로 평면파 특성을 의사할 수도 있다. 이러한 측정치구는 비교적 측정이 빠르고, 시료의 크기가 작다는 장점이 있으나, 시료의 설치 상황에 따라 값이 다르고, TEM 모드가 전파되는 주파수까지만 사용할 수 있는 단점이 있다. 특히 가장 중요한 단점은 피측정재료의 접촉저항에 따라 측정결과가 다르게 나타나는데, 복합재료의 경우 접촉저항이 재료에 따라 매우 다양하므로 값이 상당히 변화한다.

이중 템셀의 구조는 그림 2-5에서 볼 수 있는 것처럼 두 개의 템셀이 상하로 위치하여 고유벽면의 개구면을 통해 전자기장이 결합되는 형태를 이루고 있다.

이러한 구조는 주어진 하나의 입력신호(단자 1)에 대해 두 개의 출력신호(단자2와 단자3)를 갖는다는 점에서 다른 측정방법과는 다른 유일한 특성을 가지게 되며, 이러한 비대칭적인 출력신호의 특성을 이용하여 전기장 차폐효과와 자기장 차폐효과를 분리하여 측정이 가능해 진다.

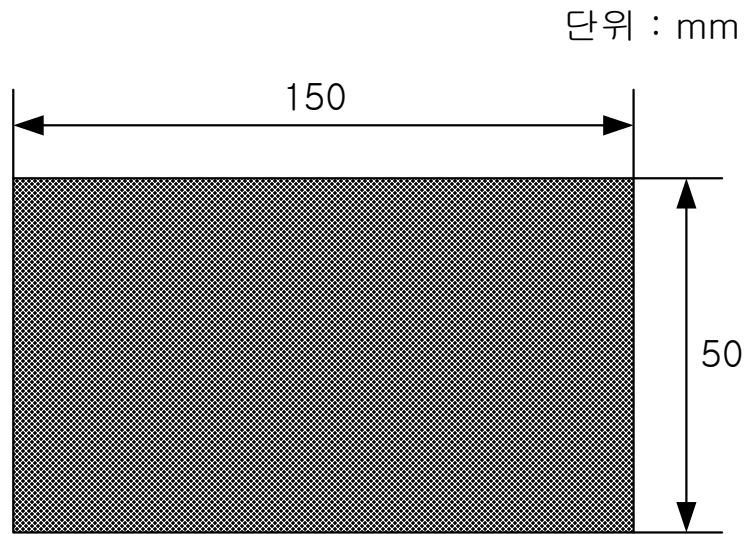


<그림 2-5 이중 TEM 셀의 구조>



<그림 2-6 이중템셀을 이용한 측정구성도>

실제 측정에 있어서는 차폐재료에 의한 삽입손실은 차폐재료로 막은 개구면을 통해 수신되는 전력(P_L)에 대한 빈 개구면을 통해 수신되는 전력(P_0)의 비로써 결정된다. ($IL = 10 \log \frac{P_0}{P_L}$) 이때, 수신단자는 단자2 또는 단자3이 되며, 수신단으로 사용되지 않는 다른쪽 단자는 50Ω으로 종단된다.



<그림 2-7 측정 시료의 치수>

차폐재료를 설치할 때 접촉 임피던스를 낮출 수 있도록 주의해야 한다. 흔히 개구면 주위에 가스켓을 설치하여 접촉 저항을 낮추고 있지만, 차폐재료가 절연면을 가지는 경우 측정결과에 매우 심각한 영향을 끼치게 된다.

제5절 표면전달임피던스 측정법

그림 2-8 에 나타낸 측정치구는 원래 차폐된 케이블과 가스켓의 차폐효과를 평가하기 위하여 설계된 것이지만, 와셔형 피측정재료의 차폐효과를 측정할 때에도 이용된다. 표면전달 임피던스 Z_{st} 는 차폐내부에 유도된 접선방향의 전계 E_t 와 외부 source에 의한 차폐의 외부에 여기된 표면전류밀도와 비로 정의된다.

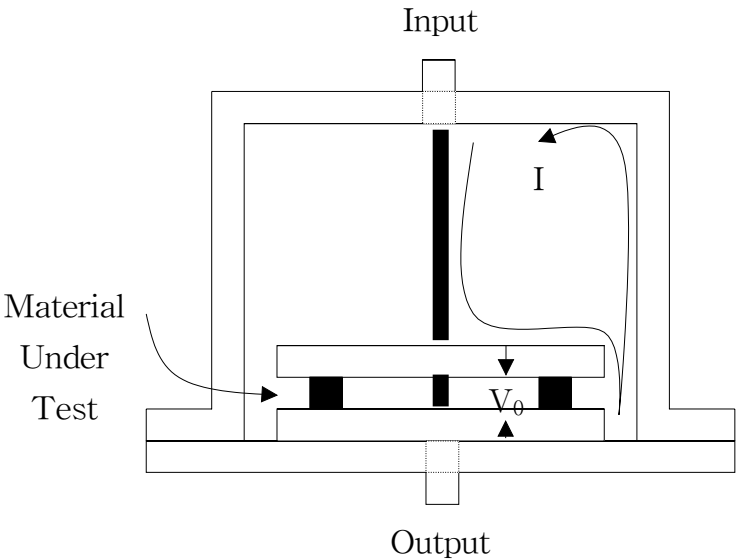
$$Z_{st} = \frac{E_t}{J} \quad (1-46)$$

이러한 측정에는 부하 임피던스와 직렬로 놓이는 접촉 임피던스를 낮추기 위해 내부 공기압이 요구된다. 대개 이러한 측정법은 DC에서부터 측정치구

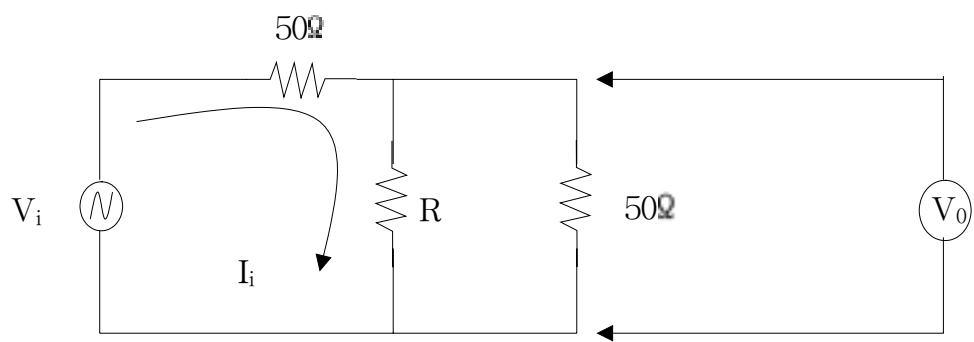
의 공진이 일어나는 주파수인 700MHz 정도까지 이용되며, 비교적 큰 동작영역 (100dB 정도)과 측정 자동화를 통해 측정시간을 단축할 수 있는 장점이 있다.

측정하고자 하는 가스켓 또는 차폐물질의 전달 임피던스는 가스켓 양단에 유기되는 전압과 입력전류와의 비이다.

$$Z_T = \frac{V_0}{I_i} \quad (1-47)$$



<그림 2-8 전달임피던스 측정치구>



<그림 2-9 DC 등가회로>

여기서 입력전류 I_i 와 출력전압 V_0 는 복소수로 표시된다. 만일 전류밀도가 가스켓의 단위길이에 따라 표시되면 임피던스는 $[\Omega \cdot \text{cm}]$ 또는 $[\Omega \cdot \text{m}]$ 로 나타낼 수 있다.

이상적인 전달임피던스 측정치구는 정해진 주파수 범위에서 일정한 크기의 전류를 입력측에 공급할 수 있게 하고, 피측정 가스켓이 끼워진 Flange 양단의 전압을 측정할 수 있도록 해 준다. 그림의 전달임피던스 측정치구에서 입력전류는 입력판에 연결된 중심도체와 가스켓, 출력판과 외부몸체를 연결하는 페루프를 통하여 흐른다. 그리고 이 전류에 의해 피측정 가스켓 양단에 전압 V_0 가 유기된다. DC 등가회로에서 측정치구와 직렬로 연결된 저항 50Ω 에 의해 측정치구와 피측정재료를 통해 흐르는 전류의 크기가 측정주파수범위에서 일정하게 유지된다고 가정한다. 차폐성능이 양호한 대부분의 가스켓에 대하여 측정치구와 피측정재료의 저항의 크기는 입력전류의 크기를 결정하는 50Ω 저항에 비해 무시할 정도로 작다. 그러므로 출력 전압 V_0 와 입력 전압 V_i 의 비는 피측정재료의 임피던스와 50Ω 과의 비와 같다.

$$\frac{V_0}{V_i} = \frac{R}{50} \quad (1-48)$$

여기서 저항 R 은 피측정재료의 전달임피던스이며, 가스켓의 차폐효과를 결정하기 위해서는 전달임피던스의 크기만 측정하며 위상은 측정하지 않아도 된다.

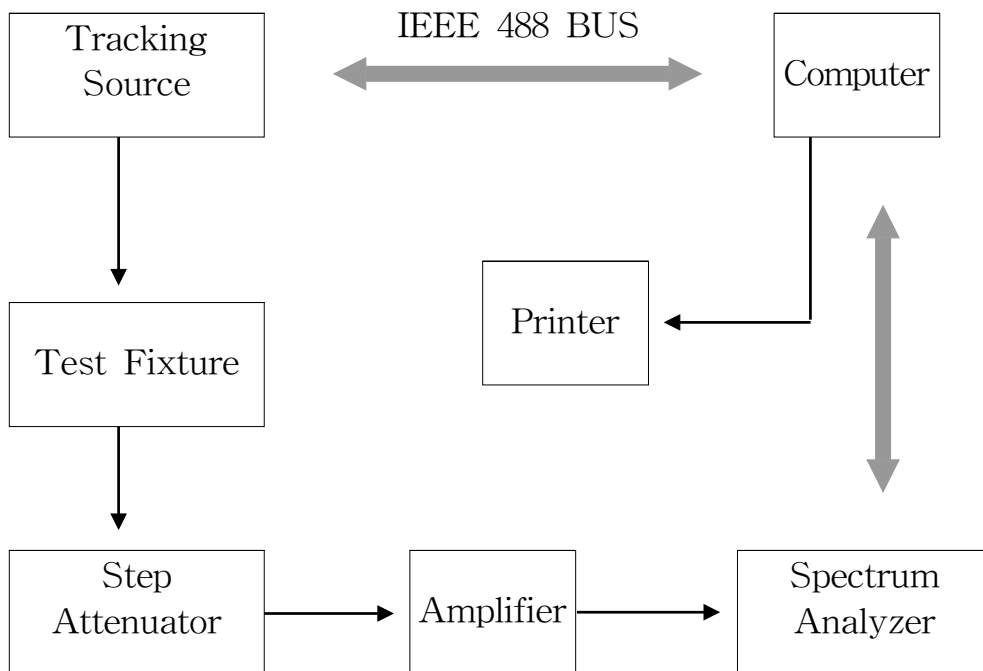
가. 측정 시스템 구성

측정시스템은 비교적 간단하다. 다음 그림은 시스템의 구성도를 보여준다. 스펙트럼 분석기와 연결된 트래킹 신호원을 넓은 주파수 범위에서 측정이 신속하게 이루어지도록 해 준다.

신호원(Signal Source)으로는 CW 또는 소인 가능한 신호발생기를 사용할 수 있다. 출력레벨은 수신측 감도와 요구되는 동작범위를 고려하여 조절할

수 있어야 한다. 측정시 입력측에 50Ω 직렬저항을 연결해야 한다. 이는 신호원을 종단시켜 주어 입력전류를 동작 주파수 범위에서 일정하게 되도록 한다.

트래킹 신호원은 주파수에 대한 출력 전력레벨의 평탄도가 장비사양의 ±2.0 dB 이내로 되게 하려면, 10MHz 미만에서는 dc 결합모드, 10MHz 이상의 주파수에 대해서는 ac결합모드에서 동작하도록 동작모드를 설정해 주어야 한다.



<그림 2-10 측정시스템 구성도>

수신 장치로는 대부분의 RF 수신장비를 사용할 수 있으며, 가스켓 임피던스가 50Ω에 비해 매우 작으므로 입력 임피던스가 50Ω인 장비도 고임피던스 수신기로 동작한다. RF 볼트미터, EMI 수신기, 스펙트럼 분석기 또는 회로망 분석기를 사용할 수 있고, 특히 회로망 분석기로 측정하면 크기와 위상을 동시에 측정할 수 있다.

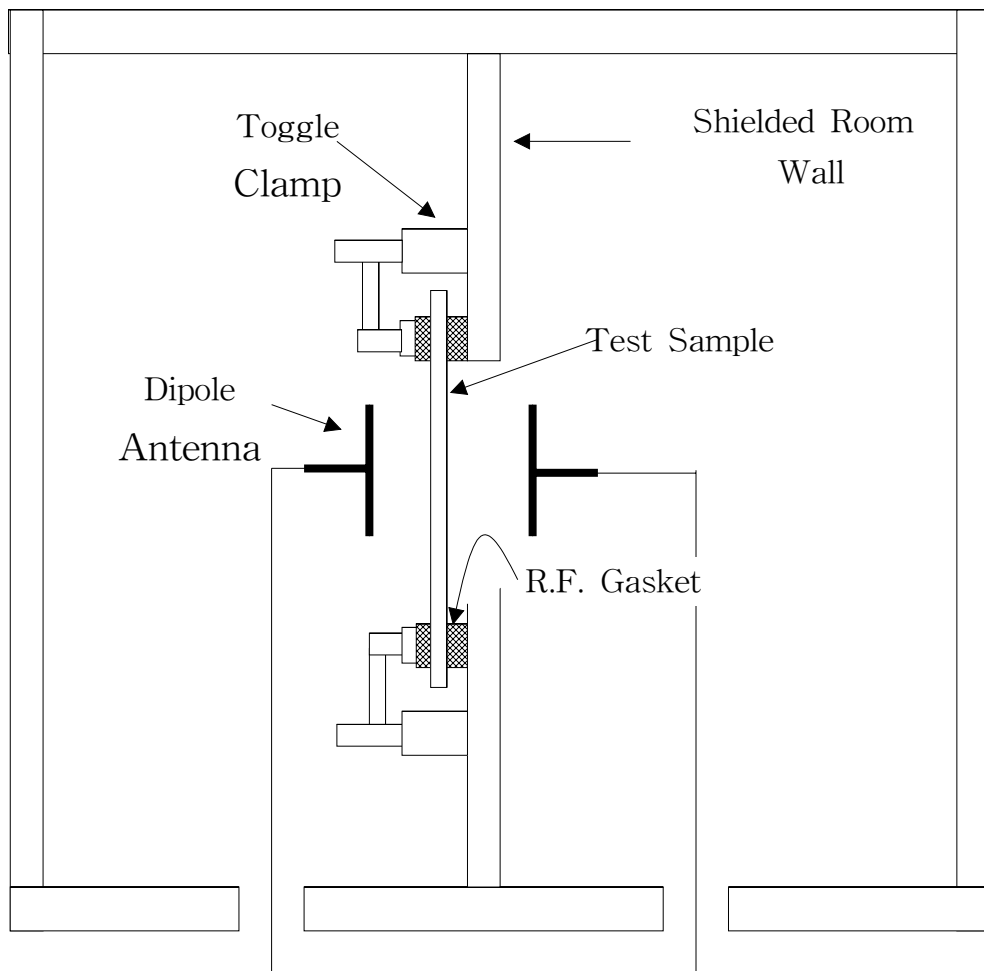
신호 발생기, 증폭기, 스펙트럼 분석기의 주파수범위, 측정치구의 특성 등에 의해 결정되는 측정 가능한 최대 주파수 범위는 300kHz ~ 1200MHz이다.

제6절 송·수신안테나 사용 방법

이 방법은 송·수신 안테나 사이에 놓이는 피측정재료의 크기가 유한하므로 피측정재료를 통과하지 않고 수신 안테나에 도달하는 간접 경로가 존재하게 된다.

따라서 그림과 같이 송·수신 안테나를 차폐상자 내에 설치할 수 있도록 하여 위의 문제점을 해결하였다.

그러나 이러한 방법 역시 차폐상자 내부의 반사에 의한 측정오차가 발생하며, 상자 내부 벽면에 전파흡수체의 주파수 특성 및 적용상 불편, 그리고 제작비용의 상승에 따른 문제가 있다. 따라서 오늘날에는 이러한 송·수신 안테나 이용법 보다 전송선로를 이용하는 방법으로 나아가는 경향이 있다.

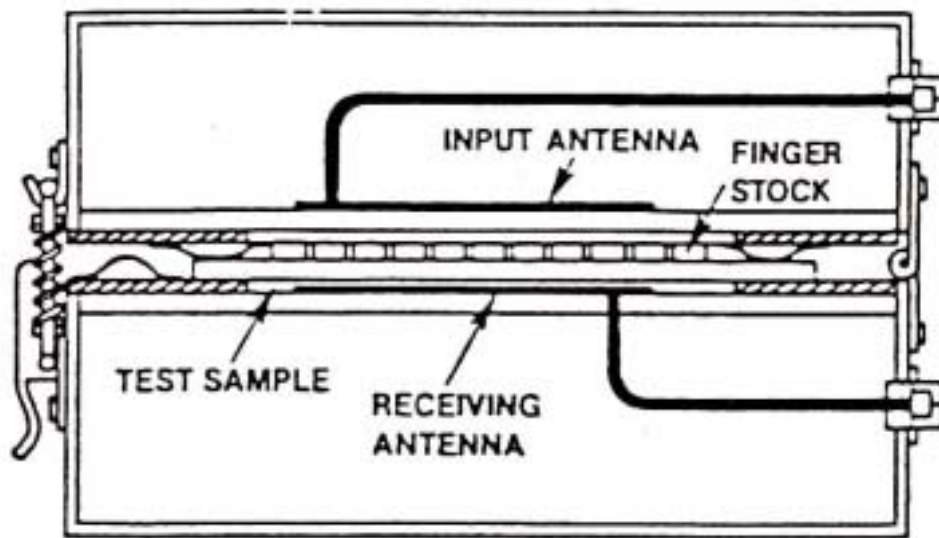


<그림 2-11 송수신안테나 측정법 구성도>

제7절 이중챔버 측정법

변형된 MIL-STD-285 방법과 매우 유사한 ASTM E57-1983 규격에서 채택하고 있는 이중챔버 측정치구가 있다. 이 방법은 재료의 Near Field 차폐 특성을 평가하는데 폭 넓게 사용되고 있는 것으로서 각각의 챔버에 신호를 송·수신할 수 있는 안테나가 내장되어 있다. 시료가 없을 때 수신되는 전력 P_r 과 시료를 챔버내에 고정시켰을 때 두 안테나 간에 전달되는 전력 P_0 를 측정하므로써 재료의 전자파 차폐효과를 결정하게 된다.

이러한 측정치구는 측정이 간편하고, 빠르며 별도의 전자파 차폐실 또는 다른 측정기구물이 필요 없다는 장점이 있지만 챔버의 물리적 크기에 따른 공진에 기인하여 측정결과가 주파수에 의존하는 단점을 가지고 있다. 또한 시료와 입력 챔버 사이에서 가스켓 역할을 하는 스프링형 Finger Stock의 상태에 따라 측정 결과의 반복성이 크게 좌우되는 단점도 가지고 있다.



<그림 2-12 이중챔버 구성도>

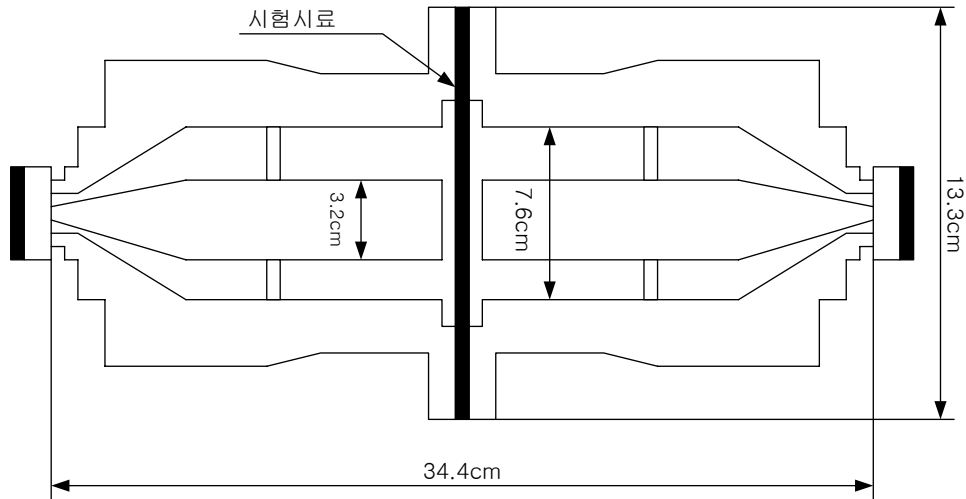
제8절 Flange형 동축전송선 측정법

Flange형 동축전송선 측정치구(Flanged circular transmission line holder)는 ASTM에서 1983년에 제안한 ASTM ES 7-83 규격의 원형 동축전송선 측정치구를 개선하여 미 국립 표준기술연구원(NIST)에서 개발하였으며, Far Field의 차폐효과를 측정하는데 사용된다. 이 측정치구는 그림 2-13 과 같이 내부 도체의 외경이 3.2cm, 외부 Flange의 외경이 13.3cm, 내경이 7.6cm이며, 피측정재료의 모양이 와셔형이 아니고 디스크형으로 되어 있다.

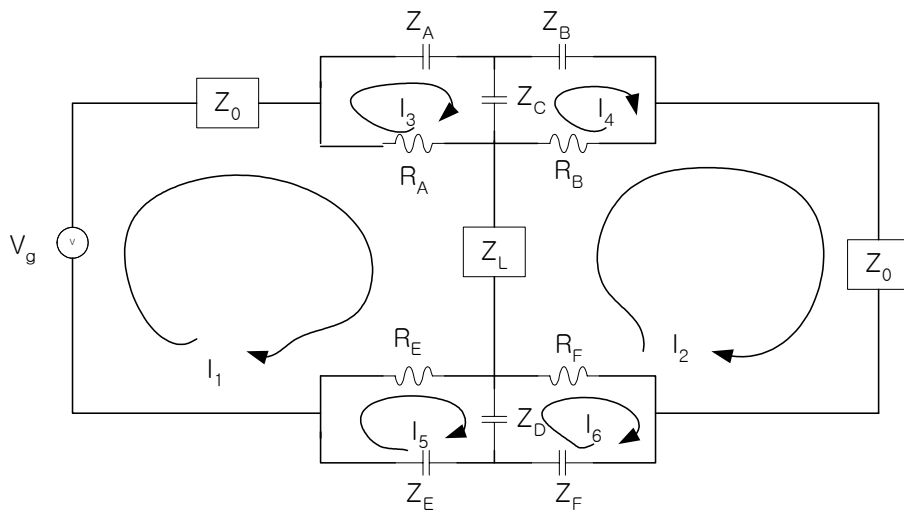
두 개의 동축 Flange 사이에 디스크형의 피측정재료를 넣고 전자파를 입사시키면 피측정재료를 통한 용량성 결합으로 TEM 모드의 신호를 전파시키게 된다. 기준피측정재료는 양쪽의 동축전송선이 피측정재료를 통해 용량성 결합을 할 수 있도록 두 조각으로 되어 있으며, 내·외부 동축선 사이는 비어 있다. 따라서 두 조각으로 이루어진 기준 피측정재료를 측정치구 사이에 끼운 다음 기준레벨을 측정하고, 다시 디스크형의 피측정재료를 측정치구 사이에 끼운 다음 수신되는 전력을 측정하고 나면 두 값의 차이로부터 피측정재료재료의 전자파 차폐효과가 결정된다.

이 때 양쪽 부분의 측정치구는 피측정재료를 통해 용량성 결합을 해야 하므로 나일론 스크류를 사용하여 양쪽 부분의 Flange를 결합하게 된다. 이러한 나일론 스크류는 금속 스크류와는 다르게 접촉 임피던스의 섭동을 피측정재료와 병렬이 되게 유지시켜 준다. 이러한 측정 치구를 사용할 때의 측정 주파수 하한은 측정기기의 주파수 한계에 의해 제한되며, 주파수 상한은 치구의 공진현상에 의해 결정된다.

동작영역은 90 ~ 100 dB 이다. Flange형 동축전송선 측정치구의 등가회로는 그림 2-14와 같다.



<그림 2-13 Flange형 동축전송선 단면도>



<그림 2-14 Flange형 동축 측정치구 등가회로>

Flange와 피측정재료사이의 접촉저항은 R_A , R_B , R_E , R_F 이며, 두 Flange 사이의 용량성 결합은 Z_A , Z_B , Z_E , Z_F 이고, Flange와 피측정재료 사이의 용량성 결합은 Z_C , Z_D 로 표현되어 있다. 이러한 등가회로에 Kirchhoff의 법칙을 적용하여 출력 임피던스 Z_0 에 전달되는 전류 I_2 를 구할수 있으므로 출력단에서 수신되는 수신 전력을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
I_1(Z_0 + R_A + Z_L + R_E) - I_2Z_L - I_3R_A - I_5R_E &= V_g \\
I_2(Z_0 + R_B + Z_L + R_F) - I_1Z_L - I_4R_B - I_6R_F &= 0 \\
I_3(Z_A + Z_C + R_A) - I_1R_A - I_4Z_C &= 0 \\
I_4(Z_B + Z_C + R_B) - I_2R_B - I_3Z_C &= 0 \\
I_5(Z_D + Z_E + R_E) - I_1R_E - I_6Z_D &= 0 \\
I_6(Z_D + Z_F + R_F) - I_E R_F - I_5Z_D &= 0
\end{aligned} \tag{1-49}$$

출력 임피던스 Z_0 에 전달되는 전류 I_2 에 대해서 풀면,

$$I_2 = \frac{V_g B}{AC - B^2} \tag{1-50}$$

여기서,

$$A = Z_0 + Z_L + R_B + R_F - \frac{R_B^2(Z_A + Z_C + R_A)}{D} - \frac{R_F^2(Z_E + Z_D + R_E)}{E}$$

$$B = Z_L + \frac{R_A R_B Z_C}{D} + \frac{R_E R_F Z_D}{E}$$

$$C = Z_0 + Z_L + R_A + R_E - \frac{R_A^2(Z_B + Z_C + R_B)}{D} - \frac{R_E^2(Z_F + Z_D + R_F)}{E}$$

$$D = (Z_A + Z_C + R_A)(Z_B + Z_C + R_B) - Z_C^2$$

$$E = (Z_E + Z_D + R_E)(Z_F + Z_D + R_F) - Z_D^2$$

이 된다. $A' = A - B$, $C' = C - B$ 라고 놓으면,

$$\begin{aligned}
A' &= Z_0 + \frac{R_B[Z_A(Z_B + Z_C) + Z_B(R_A + Z_C)]}{D} + \frac{R_F[Z_E(Z_F + Z_D) + Z_F(R_E + Z_D)]}{E} \\
C' &= Z_0 + \frac{R_A[Z_B(Z_A + Z_C) + Z_A(R_B + Z_C)]}{D} + \frac{R_E[Z_F(Z_E + Z_D) + Z_E(R_F + Z_D)]}{E}
\end{aligned} \tag{1-51}$$

그러므로 출력전류는 아래와 같이 다시 쓸 수 있다.

$$I_2 = V_g \frac{B}{B(A' + C') + A'C'} \tag{1-52}$$

출력에 전달된 전력은

$$P_T = \frac{Z_0}{2} |V_g|^2 \left| \frac{B}{B(A' + C') + A'C'} \right|^2 \tag{1-53}$$

만약 측정시료가 없다면 $Z_L \rightarrow \infty$ (개방회로)이고, $B \rightarrow \infty$ 가 된다. 그러므로, 식 (1-53)은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$P_T \rightarrow \frac{Z_0}{2} |V_g|^2 \left| \frac{1}{A' + C'} \right|^2 \tag{1-54}$$

결국 전자파 차폐효과로 정의되는 삽입손실은

$$IL = 20 \log \left| 1 + \frac{A'C'}{B(A' + C')} \right| \tag{1-55}$$

이 된다. 만약 측정치구와 측정시료가 완전하게 접촉되어 있다고 하면 모든 기생 임피던스(R_A , Z_A 등)는 단락되고, 이러한 경우 $A' \rightarrow Z_0$, $B \rightarrow Z_L$,

$C' \rightarrow Z_0$ 가 되므로,

$$IL = 20 \log \left| 1 + \frac{Z_0}{2Z_L} \right| \quad (1-56)$$

이 된다. 그러나, 실제로는 기생 임피던스가 존재하며, Flange 임피던스는 Capacitor처럼 작용한다. ($Z \approx -j/\omega C$)

그러므로 동작주파수가 증가함에 따라 용량성 임피던스 Z_A, Z_B, Z_E, Z_F 는 감소한다. 만약 $\omega C \gg 1$ 이라면 캐패시터는 단락처럼 작용한다. 또한 피측정 재료의 표면 전기전도도가 나쁘다면, $R_A, R_B \gg |Z_C|$ 이고, $R_E, R_F \gg |Z_D|$ 이다. 따라서 $B \approx Z_L + Z_C + Z_D$ 가 성립하고, 결과적으로 아래 식과 같이 된다.

$$IL = 20 \log \left| 1 + \frac{Z_0}{2(Z_L + Z_C + Z_D)} \right| \quad (1-57)$$

그러므로 접촉임피던스 Z_C 와 Z_D 는 결과적으로 측정시료의 차폐성능을 저하시키는 요인이 된다.

<전자파 차폐성능 측정방법 비교표>

구 분	주파수범위	통특성범위	장 점	단 점
전자파 차폐실	안테나와 수신기의 주파수 특성에 따름	80 ~ 90 dB	특별한 측정 장비가 요구되지 않는다. 측정주파수에 제한을 다른 측정방법에 비해 덜 받는다	차폐실을 사용함으로써 초기 투자비용이 많이 든다. 실험의 재현성이 약간 떨어질 수 있다
시간영역에서의 측정	약 200MHz~3.5GHz	50 ~ 60 dB	측정시스템이 간단하다. 측정 가능 주파수 범위가 넓다	동특성범위가 좁기 때문에 특성이 상당히 양호한 차폐재료에는 적용할 수 없다.
이중템셀	30MHz ~ 1GHz	-	비교적 측정이 빠르고, 시료의 크기를 작게 할 수 있다, Near Field 차폐특성을 얻을 수 있다	시료의 설치상황에 따라 값이 다르고, TEM 모드가 전파되는 주파수까지만 측정 가능, 피측정재료의 접촉저항에 따라 측정결과가 다르게 나타난다
표면전달 임피던스 측정법	DC ~ 700MHz	약 100 dB	비교적 큰 동작영역과 측정 자동화를 통해 측정시간을 단축 할 수 있다	측정치구에 의해 차폐 특성이 변화할 수 있다
송·수신 안테나 사용법	안테나와 수신기의 주파수 특성에 따름	80 ~ 90 dB	-	차폐상자 내부의 반사에 의한 측정오차 발생, 상자 내부벽면에 전파흡수체의 주파수 특성 및 적용상 불편, 제작비용의 상승 등
이중챔버 측정법	내부 송·수신 안테나의 특성에 따름	-	측정이 간편하고 빠름, 전자파 차폐실 또는 다른 측정기구물이 필요없음.	챔버의 물리적 크기에 따른 공진에 기인하여 측정결과가 주파수에 의존함.
Flange형 동축전송선	30MHz ~ 1.5GHz	90 ~ 100 dB	측정시스템이 간단하고 재현성이 우수하다.	측정주파수 범위가 측정치구에 의해 제한을 받는다

<표 2-1 차폐성능 측정방법 비교표>

제3장 전자파차폐성능 측정 시스템 구현

제1절 측정치구 분석

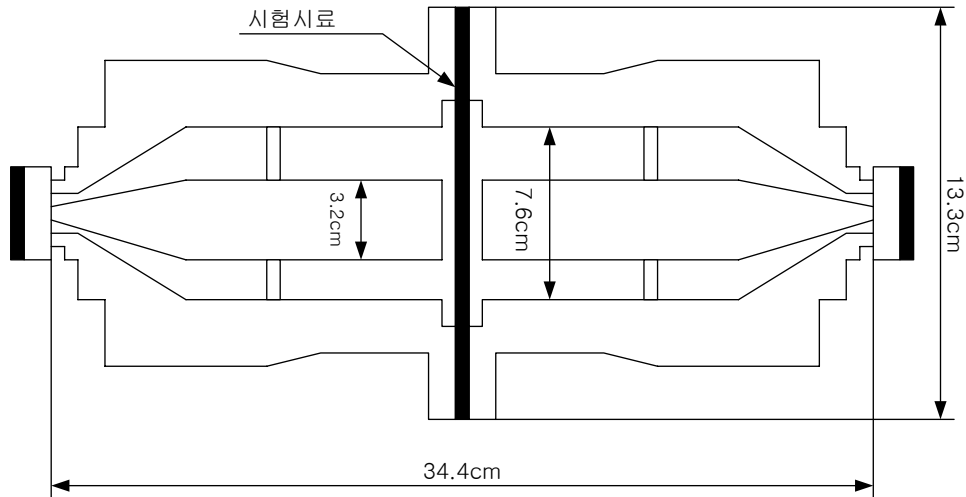
측정치구는 시료를 삽입하여 측정할 수 있도록 두 부분으로 구성된 50Ω 동축케이블 전송선으로 확장시킨 형태이다.

측정치구는 내부 도체의 외경이 3.2cm, 외부 Flange의 외경이 13.3cm, 내경이 7.6cm이며, 피측정재료의 모양이 디스크형으로 되어 있다. 두개의 동축 Flange 사이에 디스크형의 피측정재료를 넣고 전자파를 입사시키면 피측정 재료를 통한 용량성 결합으로 TEM 모드의 신호를 전파시키게 된다.

그림 들은 실제 측정에 사용된 측정치구의 사진 및 단면도 이다.

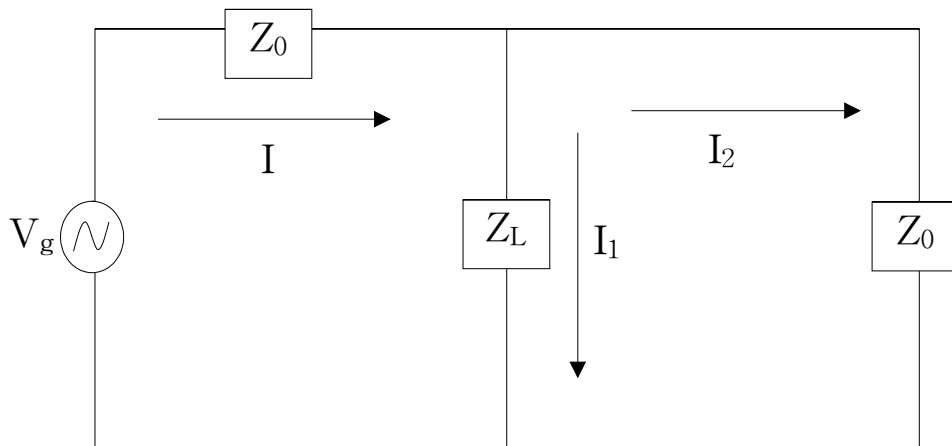


<그림 3-1 측정치구 사진>



<그림 3-2 측정치구 단면도>

이상적으로 근사화시킨 등가회로는 다음과 같다.



<그림3-3 이상적인 등가회로>

측정치구와 같은 동축전송선은 전송선으로 해석할 수 있다. 그러나 만약 측정치구가 근본적으로 저주파수 장치라고 가정한다면, 위 등가회로와 같은 간단한 회로 모델로 근사화하는 것이 가능하다. 여기서 Z_0 는 전송선의 특성임피던스(50Ω)이고, Z_L 은 측정시료(MUT : Material Under Test)의 임피던스이다. 이 등가회로에서 삽입손실(IL : Insertion Loss)을 구해보면 삽입손실 정의에 의해서

$$IL=10\log\frac{P_2}{P_1}$$

여기서, P_1 은 측정시료가 있을 때 수신된 전력이고, P_2 는 측정시료가 없을 때 수신된 전력이다.

그림에서 P_1 은

$$P_1=\frac{1}{2}I_2^2Z_0$$

이고

$$I_2=\frac{Z_L}{Z_0+Z_L}I$$

$$I=\frac{V_g}{(Z_0//Z_L)+Z_0}$$

이다. 그러므로

$$P_1=\frac{1}{2}\left(\frac{Z_L}{Z_0+Z_L}\times\frac{V_g}{(Z_0//Z_L)+Z_0}\right)^2Z_0$$

또한 P_2 는 $Z_L \rightarrow \infty$ 일 때 수신되는 전력이므로

$$P_2=\frac{1}{2}I^2Z_0$$

$$I = \frac{V_g}{2Z_0}$$

그러므로

$$P_2 = \frac{1}{2} \left(\frac{V_g}{2Z_0} \right)^2 Z_0$$

이다. 그러므로 삽입손실 IL 은

$$IL = 10 \log \frac{P_2}{P_1} = 10 \log \left(\frac{\frac{1}{2} \left(\frac{V_g}{2Z_0} \right)^2 Z_0}{\frac{1}{2} \left(\frac{Z_L}{Z_0 + Z_L} \times \frac{V_g}{(Z_0 // Z_L) + Z_0} \right)^2 Z_0} \right)$$

이다.

$$IL = 20 \log \left| 1 + \frac{Z_0}{2Z_L} \right|$$

로 표현되어 질 수 있다.

하지만 실제로 도체와 시료 사이에 접촉임피던스 Z_c 가 존재한다. 윗식에서의 가정은 도체는 연속적이기 때문에 접촉임피던스는 시료의 임피던스와 직렬로 나타나게 된다. 그러므로 식에서 Z_L 은 $Z_L + Z_c$ 로 바뀔 수 있다. 그러면 식은

$$IL = 20 \log \left| 1 + \frac{Z_0}{2(Z_L + Z_c)} \right|$$

로 된다. 이것은 접촉임피던스가 식에서 분모를 증가시켜 결과적으로 삽입손실 감소시킨다.

또한 해당 주파수 범위에서 시료가 전기적으로 얇다(시료의 두께가 파장보다 훨씬 얇은 경우 약 $d \ll \lambda/100$)고 한다면 윗 식에서 Z_0/Z_L 은 다음과 같이 표현되어 질 수 있다.

$$\frac{Z_0}{Z_L} = \eta_0 \sigma d$$

여기서 η_0 는 자유공간 임피던스(120π)이고, σ 는 시료의 전도율, d 는 시료의 두께이다.

그러므로 윗식에서 삽입손실은 다음과 같이 표현되어 질 수 있다.

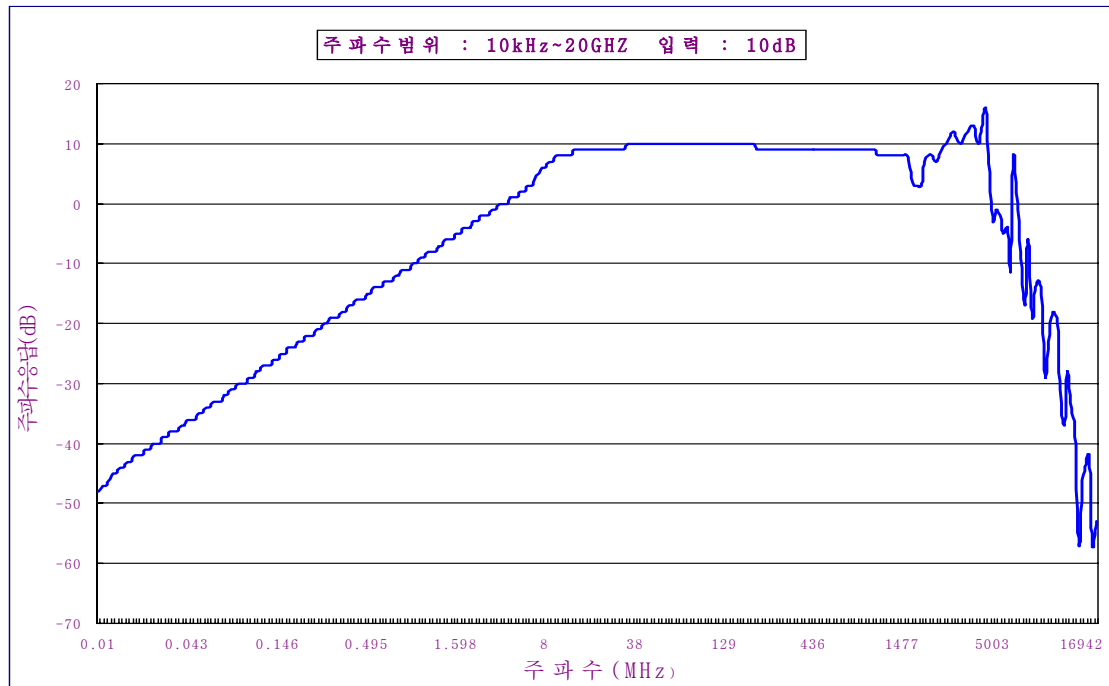
$$IL = 20 \log \left| 1 + \frac{1}{2} \eta_0 \sigma d \right|$$

이와 같은 표현식은 주파수와는 무관하고 반사에 의한 손실만을 나타낸다.

제2절 측정시스템의 주파수 특성

그림에서와 같이 측정시스템을 구성하고, 측정치구의 입력단에 Signal Generator로 10dB를 입사하고 출력단에서 Power Meter로 수신되는 출력을 주파수 대역별로 측정하였다. System Controller는 Signal Generator와 Power Meter를 제어하고, 측정결과 값을 저장 및 분석하는 용도로 쓰였다. 여기서의 주파수 범위는 10kHz ~ 20GHz 이다.

여기서보면 10kHz ~ 30MHz 사이에서는 단조적으로 출력이 증가하다가 30MHz ~ 1.5GHz까지는 8 ~ 10dB 정도로 일정한 출력이 나오는 것을 볼 수 있다. 하지만 2GHz 이상에서는 출력이 일정하지 않고 공진하는 현상도 보였다.

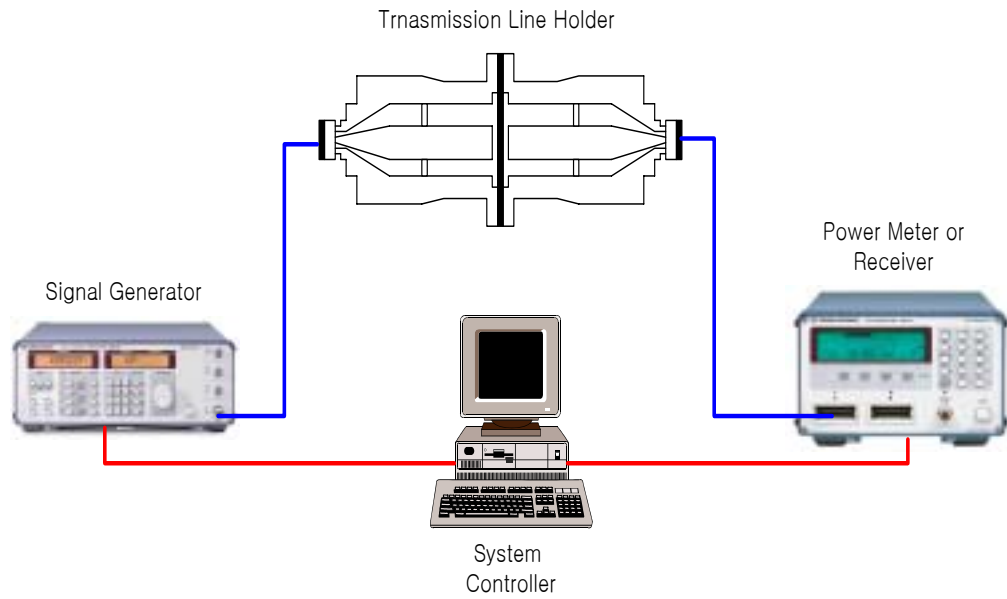


<그림 3-4 측정시스템의 주파수 특성>

제3절 전자파차폐성능 측정시스템 구성

일반적으로 전자파차폐성능 측정시스템 구성은 입력에 일정한 신호를 발생시키는 신호발생기(Signal Generator)와 시료를 장착하는 시료 지지대, 출력신호를 측정할 수 있는 수신기로 구성된다.

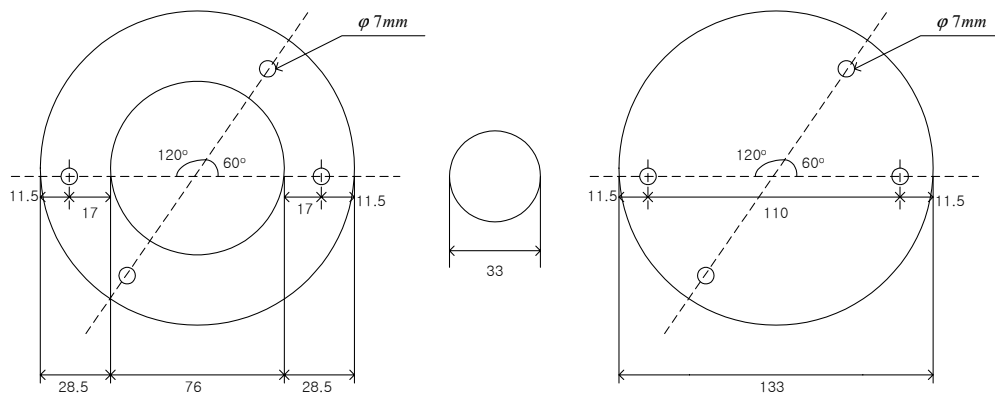
대부분의 전자파 차폐효과 측정 방법(차폐실을 이용한 측정방법, 이중챔버 측정방법, 이중 TEM Cell을 이용한 측정방법 등)은 삽입손실법에 의하여 차폐성능을 측정한다. 즉, 차폐재료가 놓여 있을 때와 놓여있지 않을 때의 수신 전력값을 비교하여 차폐성능을 산출한다.



<그림 3-5 전자파차폐성능 측정시스템 구성도>

이러한 측정시스템은 측정시간을 단축하기 위해 차폐효과 측정 소프트웨어를 사용하여 자동으로 측정하는 시스템이다. 수동으로도 차폐효과를 측정하여 계산할 수 있으나, 수동으로 측정하는 방법은 측정시간이 오래 걸리고 번거로운 단점이 있다.

제4절 측정시료의 규격



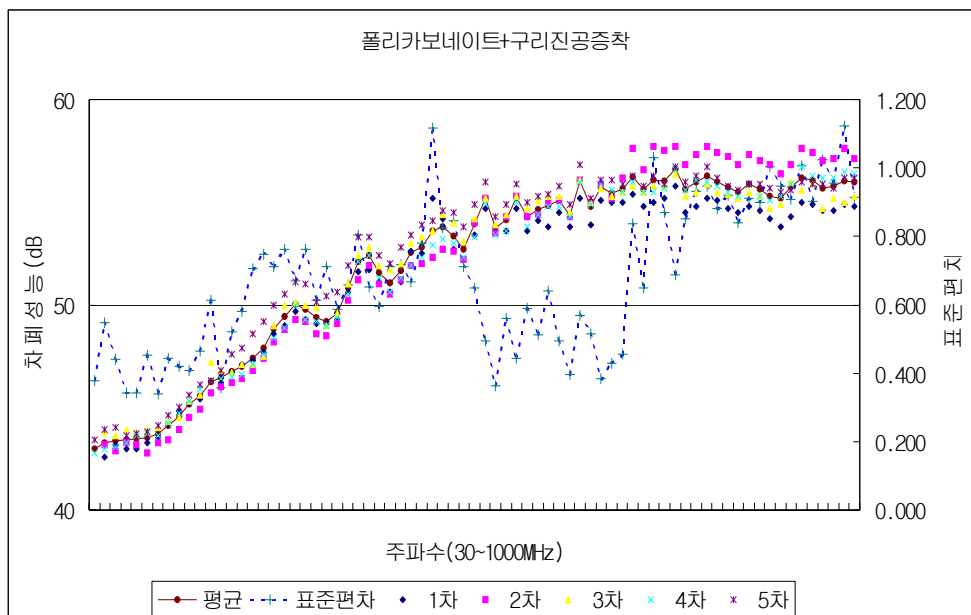
<그림 3-6 측정시료 규격>

시료는 기준시료와 부하시료가 있다. 시료는 균질이거나 비균질, 단층 또는 다층의 도전성 또는 절연성 재료일 수 있다. 표면은 완전평면으로 매끄럽게 이루어져 있어야 한다. 그렇지 않으면 측정시 입력전력 또는 전압이 누설되어 정확한 측정을 할 수 없게 된다.

제5절 전자파차폐성능 측정시스템의 재현성

다음은 각기 성분과 차폐성능이 다른 3개의 물질을 같은 측정시스템으로 5회 반복 측정하여 각 측정결과 값을 비교하고, 각 측정값들의 주파수 대역별 평균과 표준편차를 구하고 시료별로 각각 분석하였다.

1. 폴리카보네이트에 구리를 진공 증착한 물질

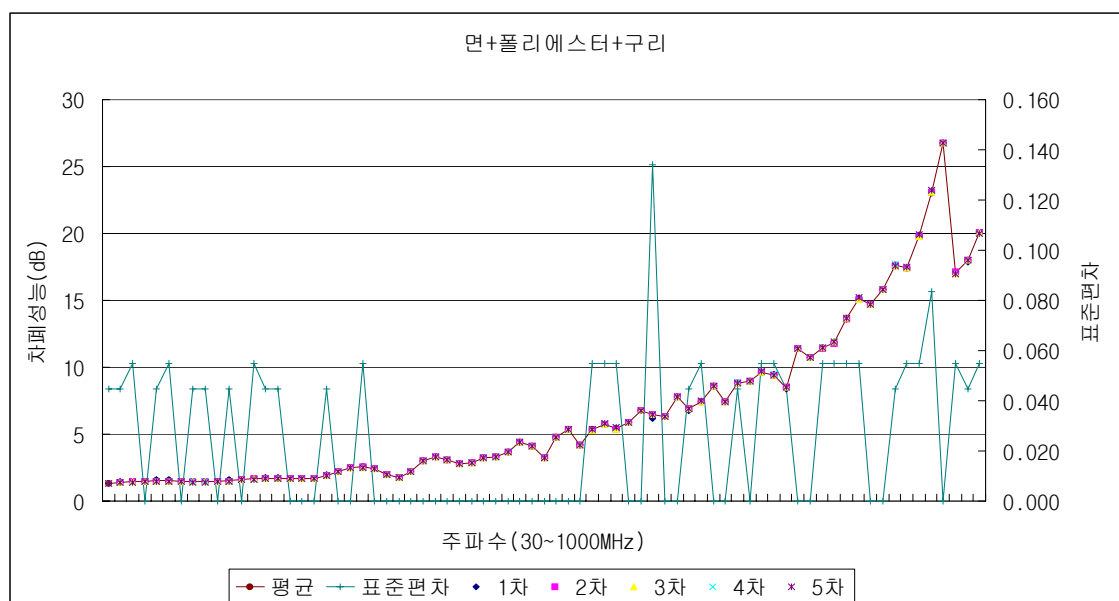


<그림 3-7 폴리카보네이트에 구리를 진공증착>

차폐성능이 어느 정도 우수한 경우에 속하는 시료인 폴리카보네이트에 구리를 진공 증착한 차폐재료에 대해 5회에 걸쳐 측정한 결과 차폐성능 평균은 주파수 대역별로 42 ~ 56dB 정도로 나타났고 각 측정값들의 표준 편차는 0.4 ~ 1.1 정도로 나타났다. 위 그림에서 좌측에 있는 축이 차폐성능(dB)을

나타내고, 우측에 있는 축이 각 주파수 대역별 표준편차를 나타낸다. 실선으로 되어 있는 것이 평균값을 나타내고 각 점으로 되어 있는 것이 실제 측정된 데이터를 나타낸다. 그리고 가운데 점선으로 되어있는 것은 주파수대역별로 측정된 측정값들의 표준편차를 나타낸다. 보는 바와 같이 5번 측정한 결과 측정값들이 거의 비슷하게 나타나 측정의 재현성이 우수한 것을 볼 수 있었다.

2. 면, 폴리에스터 합성섬유에 구리를 첨가한 직물



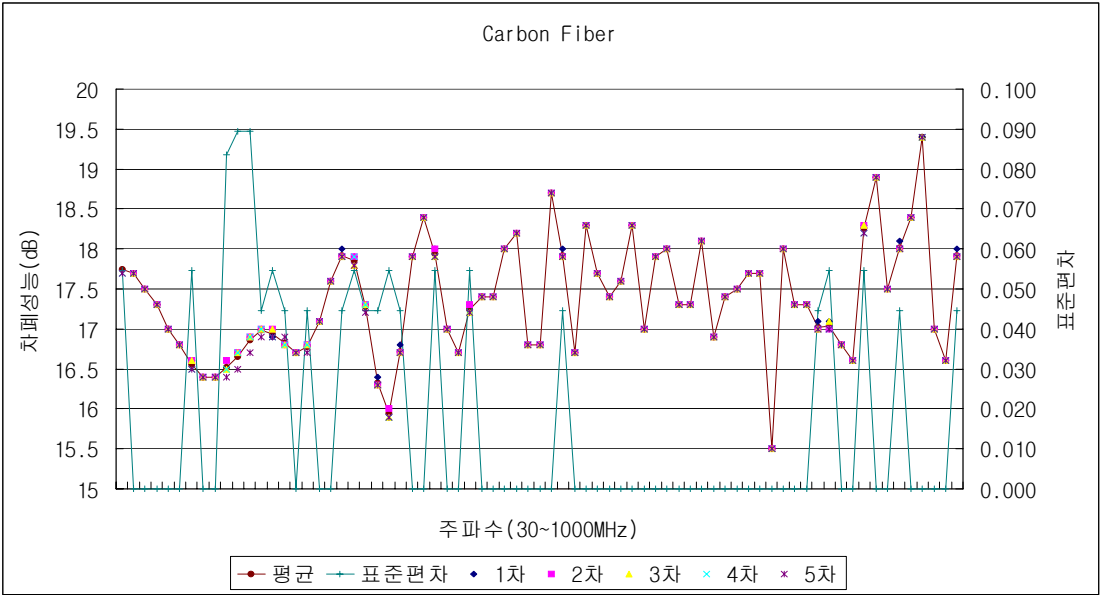
<그림 3-8 면, 구리, 폴리에스터 합성 섬유>

차폐성능이 비교적 낮은 구리를 첨가한 직물을 5회 측정한 결과 차폐성능은 2 ~ 27dB 정도로 나타났고 거의 모든 결과값 들이 동일한 것을 볼 수 있다. 표준편차가 0 ~ 0.14 정도로 나타났다. 이것은 앞의 경우(폴리카보네이트에 구리를 진공증착한 물질)보다 훨씬 좋은 재현성을 보인 것이다.

3. Carbon Fiber

이 경우도 직물과 마찬가지로 5번 모두 거의 동일한 결과값을 나타냈다. 차폐성능은 15 ~ 19dB 정도로 일정했고, 표준편차도 0.1 미만으로 나타나 재

현성이 우수함을 보였다.



<그림 3-9 카본 섬유>

위의 결과 들을 종합해 보면 Flange형 동축전송선을 이용한 측정방법은 약 30MHz ~1.5GHz 대역에서 측정치구의 특성에 따라 유효하고 재현성이 우수함을 알 수 있다.

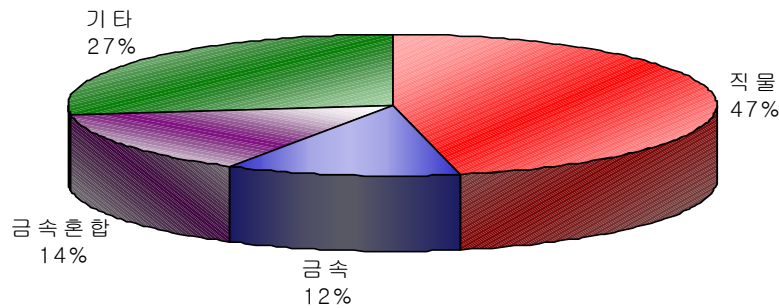
제4장 Flange형 동축전송선을 이용한 측정 결과

제1절 측정대상 및 재료별 차폐성능

1. 측정대상

구분	직물	금속재료	금속혼합재료	기타	계
건	36	9	11	21	77

<표 4-1 측정대상>



<그림 4-1 측정대상 분포도>

측정대상은 총 77건으로 직물 36, 금속재료 9, 금속혼합재료 11, 기타 21 건으로 분포되어 있으며, 구매재료는 국민의 관심이 크고 시중에 다량 유통되고 있는 제품으로 선정하였다.

2. 재료별 차폐성능

측정대상 총77건중 42%이상(32건)이 차폐성능 10dB 이하이거나 차폐성능이 없는 것으로 나타났다. 반면, 약 18%(14건)에 해당하는 대상에서는 50dB 이상의 높은 차폐성능을 보였으며, 이중 일부 대상은 70dB이상의 우수한 차폐성능을 보였다. 주로 금속성분이 다량으로 함유되거나 금속만으로 이루어

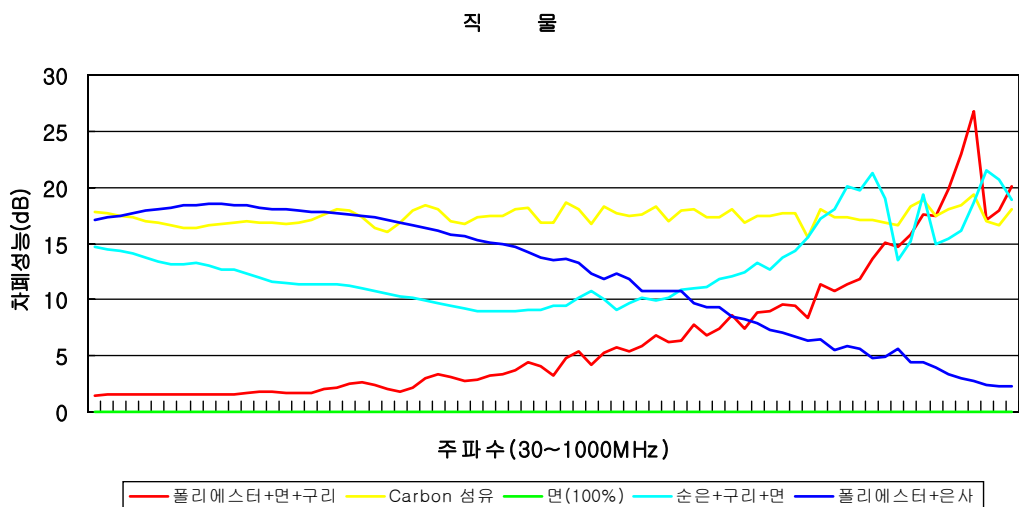
진 물질의 차폐성능이 우수했고, 특히 금속성분 중에서도 전도도가 높을수록 차폐성능이 높은 것으로 나타났다. 이는 이론적으로 보았을 때와 일치하는 결과이다. 하지만 순수한 물질의 전도율은 쉽게 알 수 있지만, 여러 가지 물질을 혼합한 물질의 전도율을 구하는 것은 쉽지 않다.

구분 성능(dB)	직물	금속	혼합	기타	소계/%
0	8	-	-	4	12 / 15.5
0 ~ 5	4	-	4	9	17 / 22.0
5 ~ 10	1	-	1	1	3 / 3.9
10 ~ 20	7	-	-	-	7 / 9.0
20 ~ 30	9	-	2	-	11 / 14.3
30 ~ 40	6	1	-	1	8 / 10.4
40 ~ 50	-	1	1	3	5 / 6.6
50 ~ 60	-	2	2	2	6 / 7.8
60 ~ 70	1	-	1	1	3 / 3.9
70 ~ 80	-	2	-	-	2 / 2.7
80 이상	-	3	-	-	3 / 3.9
총 계	36	9	11	21	77

<표 4-2 재료별 차폐성능>

제2절 구성성분별 차폐성능

1. 직물



<그림 4-2 직물의 차폐성능>

총 36개의 물질을 측정한 결과 29개의 물질이 30dB 이하의 차폐성능을 나타냈고, 7개의 물질이 30dB 이상의 차폐성능을 나타냈다.

그 중 서로 다른 구성성분을 가진 5가지만 각각의 차폐성능을 주파수 대역별로 비교했다. 측정환경은 20°C 의 온도와 33%의 습도를 유지하였다.

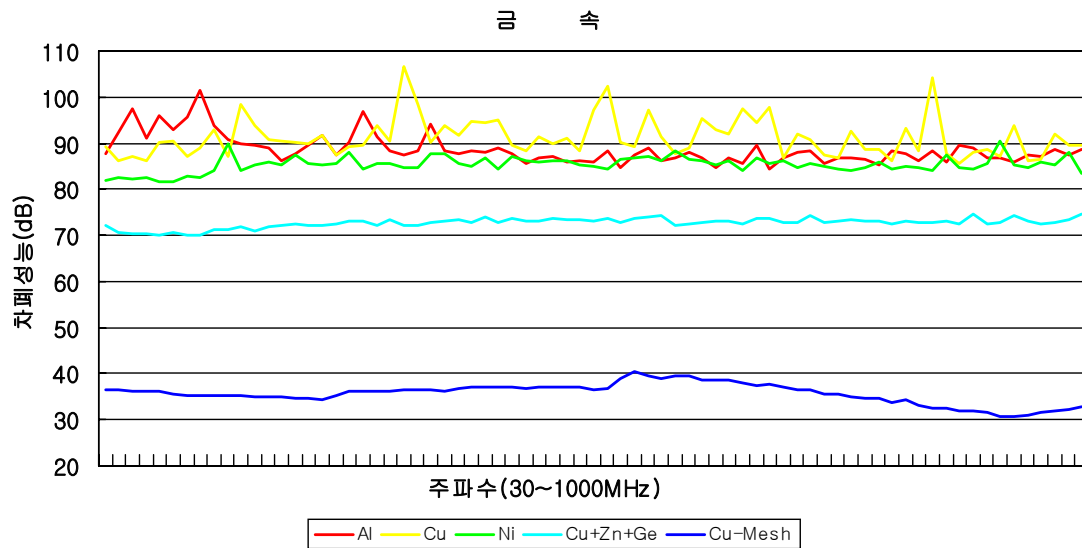
면 100%로 이루어진 직물은 예상대로 차폐성능이 0dB였다. 하지만 섬유에 구리, 은, 카본 등을 첨가하게 되면 차폐성능이 최고 30dB 정도까지 증가하는 것을 보였다. 특히 카본을 첨가한 직물은 30~1,000MHz 주파수대역에서 16 ~ 19dB 정도로 평탄한 차폐성능을 보였다.

차폐성능 (dB)	직물의 차폐성능				
	폴리에스터 +면+구리	Carbon 섬유	면(100%)	순은+구리+ 면	폴리에스터 +은사
평균	6.7	17.4	0	12.9	12.2
최대	26.8	19.4	0	21.5	18.5
최소	1.4	15.5	0	9	2.3
평탄도	25.4	3.9	0	12.5	16.2

<표 4-3 직물의 차폐성능>

2. 금속

금속은 총 9개의 물질을 측정했고, 그중 2개가 50dB 이하의 차폐성능을 나타냈고, 나머지 7개가 50dB 이상의 높은 차폐성능을 나타냈다. 그림은 알루미늄, 구리, 니켈과 구리를 사용한 Mesh 형태의 순수 금속성분과 구리, 아연, 게르마늄을 혼합한 금속을 측정한 결과를 나타낸다.



<그림 4-3 금속의 차폐성능>

알루미늄, 구리, 니켈(두께 : 0.3mm) 모두 평균 85dB이상의 차폐성능을 보였으며, 니켈은 세 가지 금속 가장 낮은 85.4dB의 차폐효과를 보인 반면, 주파수 대역에서 5.9dB의 비교적 평탄한 특성을 보였다. 이에 반해 구리는 300MHz에서 97.5dB의 차폐성능을 보였지만, 15.8dB의 평탄도 특성을 나타내었다. 알루미늄은 주파수 대역에서 평균 88.3dB의 차폐효과 성능을 보였다. 순수한 알루미늄, 구리, 니켈은 차폐성능이 80 ~ 100dB 정도로 높은 차폐성능을 보였지만, 구리를 Mesh 형태로 만든 물질은 30 ~ 40dB, 구리, 아연, 게르마늄을 혼합한 물질은 70 ~ 75dB 정도로 순수한 금속보다는 차폐성능이 조금 떨어졌다. 이것은 물질의 두께와 내부구조가 다른데서 오는 결과이다.

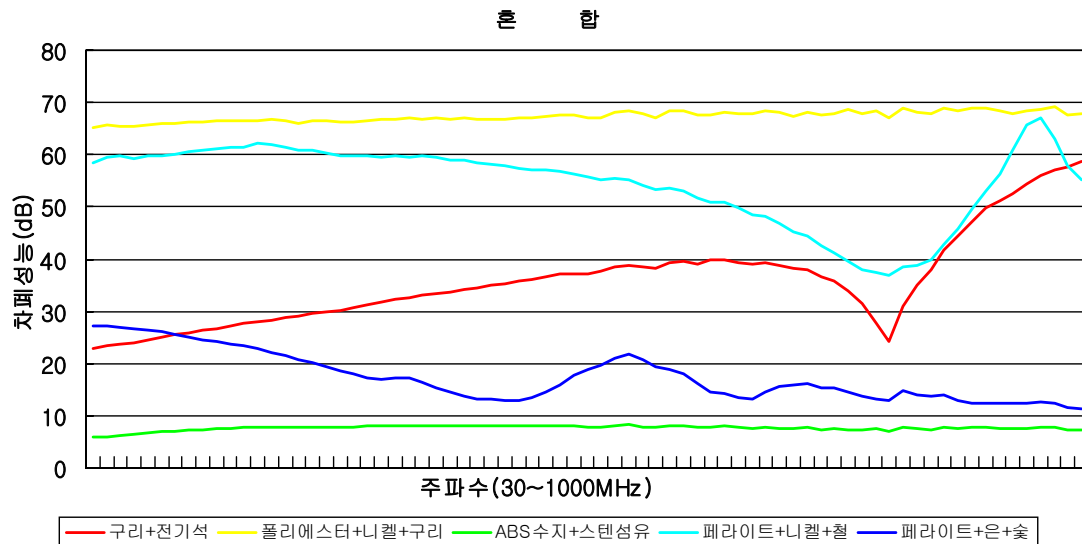
차폐성능 (dB)	금속의 차폐성능				
	알루미늄	구리	니켈	Cu+Zn+Ge	구리 Mesh
평균	88.6	91.2	85.4	72.7	35.7
최대	101.6	106.6	90.6	74.7	40.3
최소	84.3	85.6	81.6	69.9	30.6
평탄도	17.3	21	9	4.8	9.7

<표 4-4 금속의 차폐성능>

3. 혼합물질

혼합물질은 총 11가지 물질을 측정하였고, 그 중 7개의 물질의 차폐성능은 40dB 이하로 측정되었고, 4개의 물질은 40dB 이상으로 측정되었다.

그림에서 폴리에스터, 니켈, 구리를 혼합한 물질은 다른 혼합물질에 비해 차폐성능이 평균 67.3dB로 가장 높았고, 평탄도도 4.1dB로 비교적 평탄한 특성을 보였다. 하지만 구리와 전기석을 혼합한 물질과 페라이트, 니켈, 철을 혼합한 물질은 500MHz 근처에서 차폐성능이 갑자기 떨어지는 것을 볼 수 있다.

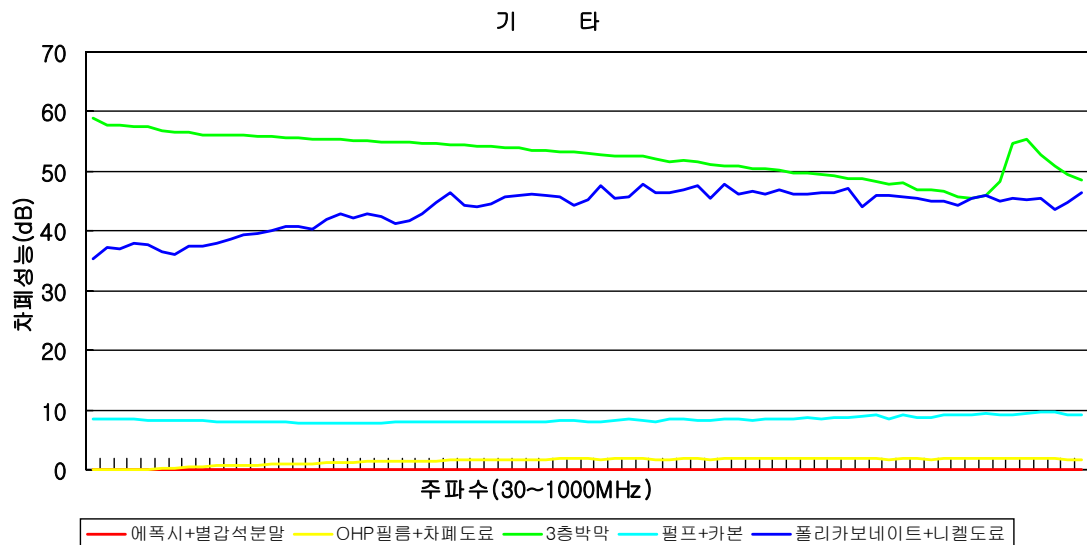


<그림 4-4 혼합물질의 차폐성능>

차폐성능 (dB)	혼합물질의 차폐성능				
	구리 +전기석	폴리에스터 +니켈+구리	ABS수지 +스텐섬유	페라이트 +니켈+철	페라이트 +은+숯
평균	35.8	67.3	7.7	54.6	17.4
최대	58.7	69.2	8.3	67.1	27.3
최소	23	65.1	5.8	36.8	11.4
평탄도	35.7	4.1	2.5	30.3	15.9

<표 4-5 혼합물질의 차폐성능>

4. 기타물질



<그림 4-5 기타물질의 차폐성능>

차폐성능 (dB)	기타물질의 차폐성능				
	에폭시 +별갑석분말	OHP필름 +차폐도료	3층박막	펄프+카본	폴리카보네이트 +니켈도료
평균	0.0	1.4	52.7	8.4	43.7
최대	0	1.9	59	9.6	47.9
최소	0	0	45.5	7.7	35.3
평탄도	0	1.9	13.5	1.9	12.6

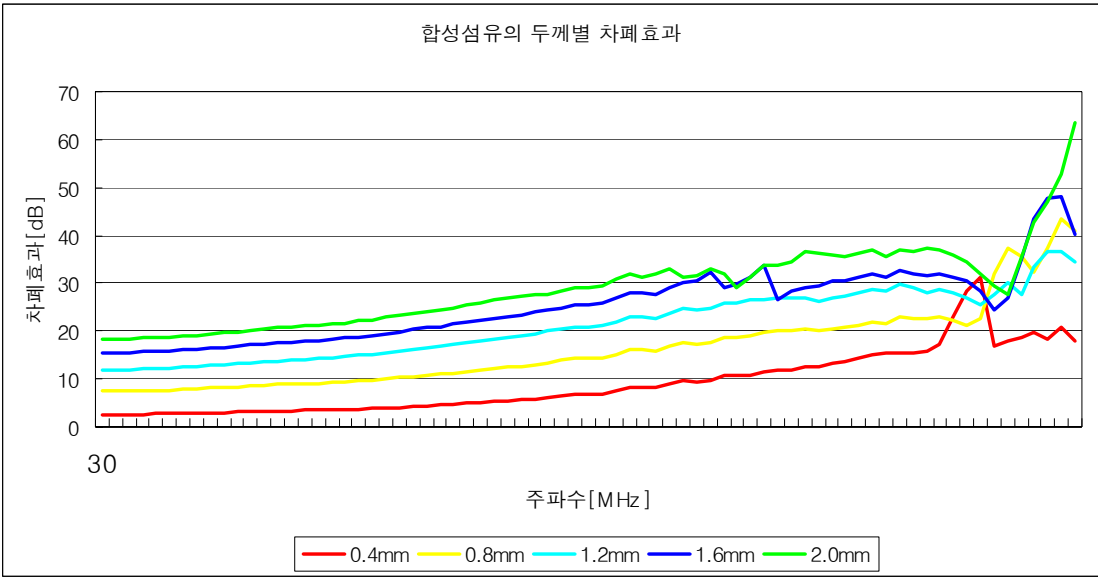
<표 4-6 기타물질의 차폐성능>

기타물질은 총 21개 중 14개의 물질이 30dB 이하의 차폐성능을 나타냈고, 7개의 물질이 30dB 이상의 차폐성능을 나타냈다.

박막을 3겹으로 붙인 3층 박막이 평균 52.7dB로 가장 높은 차폐성능을 보였

고, 에폭시에 별갑석 분말을 혼합하여 만든 물질은 차폐성능이 0dB로 차폐 성능이 없는 것으로 나타났다.

제3절 합성섬유의 두께별 차폐성능



<그림 4-6 합성섬유의 두께별 차폐성능>

그림은 차폐효과를 위해 개발된 합성섬유의 두께별 차폐효과를 측정 및 분석한 결과이다.

차폐 성능	합성섬유 두께[mm]				
	0.4mm	0.8mm	1.2mm	1.6mm	2.0mm
평균	9.2dB	16.4dB	21.3dB	25.4dB	29.0dB
주파수 최대	715MHz 31.1dB	958MHz 43.3dB	913MHz 36.6dB	958MHz 48.0dB	1000MHz 63.5dB
주파수 최소	30MHz 2.5dB	30MHz 7.4dB	30MHz 11.8dB	30MHz 15.4dB	30MHz 18.2dB
평탄도	28.6dB	35.9dB	24.8dB	32.6dB	45.3dB

<표 4-7 합성섬유의 두께별 차폐성능>

합성섬유의 차폐효과 성능은 두께가 0.4mm일 때 30 ~ 1000MHz 주파수 대역에서 평균 9.2dB의 차폐효과를 보였으며, 0.4mm씩 추가할 때마다 약 4 ~ 5dB 정도 차폐효과가 개선됨을 볼 수 있었다. 합성섬유 두께가 2.0mm일 때의 차폐효과를 측정했을 때 평균 29dB의 차폐효과 성능을 보였으며, 합성섬유는 대체로 주파수가 높아질수록 차폐효과 성능이 높아짐을 확인할 수 있었다. 그리고 두께가 0.8mm 이상일 때 900MHz 이상의 주파수에서 차폐효과의 급격한 변화를 보였다. 따라서 이 합성섬유에 대한 1000MHz 이상의 주파수 대역에서 차폐효과에 대한 측정 필요성이 있는 것으로 생각된다.

제5장 전자파 차폐물질 차폐효과 측정방법

1. 적용범위

이 측정방법은 30MHz ~1GHz 범위에서 평면 재료의 전자파 차폐효과를 측정하는 절차와 방법에 적용한다.

2. 정의

이 측정방법에서 사용하는 용어의 정의는 아래와 같다.

가. 동특성 범위(Dynamic Range)

- 측정시스템에서 측정 가능한 최대 및 최소 신호 레벨의 차이를 말한다.

나. 차폐 효과(Shielding Effectiveness : SE)

- 동일 입사 전력에 대해서 차폐 재료가 존재할 때와 존재하지 않을 때의 수신 전력비를 말한다.

$$SE = 10 \log \frac{P_0}{P_L} \quad (dB) \quad (\text{수신기 지시값이 전력일 때})$$

P_0 : 차폐 재료가 존재하지 않을 때의 수신 전력

P_L : 차폐 재료가 존재할 때의 수신 전력

$$SE = 20 \log \frac{V_0}{V_L} \quad (dB) \quad (\text{수신기 지시값이 전압일 때})$$

V_0 : 차폐 재료가 존재하지 않을 때의 수신 전압

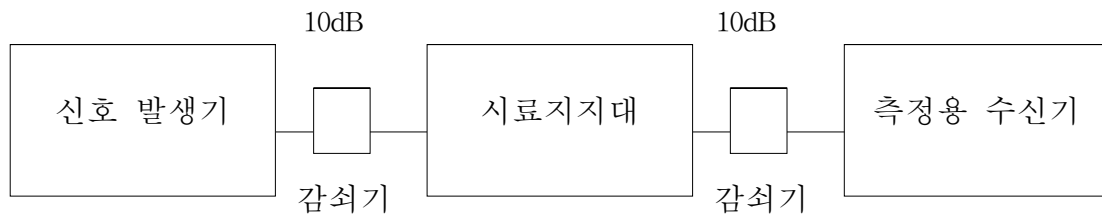
V_L : 차폐 재료가 존재할 때의 수신 전압

3. 차폐 효과 측정 방법

가. 측정 장치의 구성 및 조건

(1) 측정 장치 구성

측정 장치 구성은 그림 5-1과 같다.

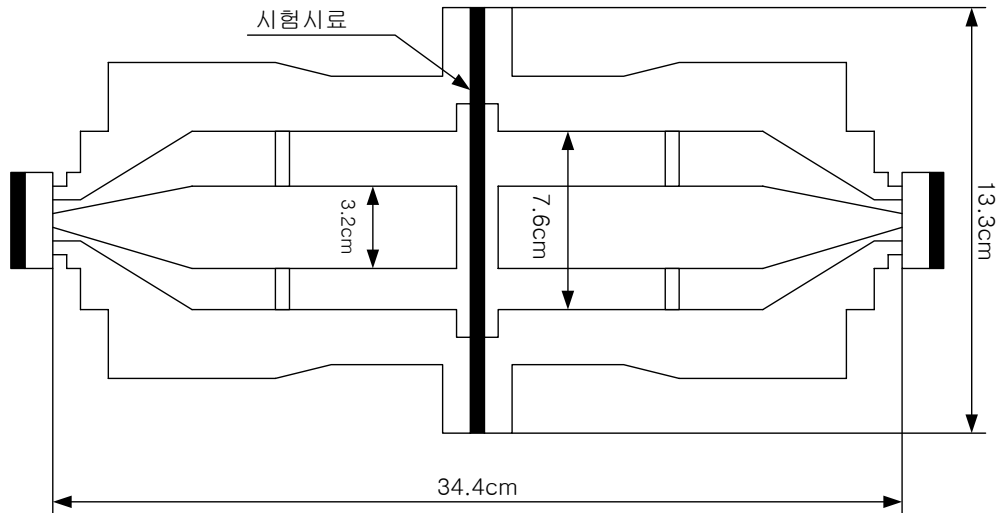


<그림 5-1 기본 측정 장치 구성>

(2) 측정 장치의 조건

① 시료지지대(Specimen Holder)

- 시료 지지대는 그림 5-2와 같이 양 끝으로부터 경사면 부분을 거쳐 확장시킨 원형 동축선의 구조로서, 종단부 양 끝 사이의 임피던스는 측정 주파수 대역 내에서 $50 \pm 0.5 \Omega$ 을 유지해야 한다.
- 시료 지지대는 중앙에 한 쌍의 Flange가 있어야 하며, 이 Flange로 시료를 지지하여 절연성 재료와 변위 전류에 의한 양호한 용량성 결합을 갖게 해야 한다.
- 시료 지지대의 중앙은 두 부분으로 나누어져 있기 때문에 시료를 삽입한 후 네 개의 비전도성(나일론) 나사를 사용하여 두 부분을 결합시킨다.



<그림 5-2 시료 지지대의 구조>

② 신호발생기(Signal Generator)

- 신호발생기는 30MHz ~ 1GHz 측정 주파수 대역에서 정현파 신호를 발생시킬 수 있어야 하며, 시료 지지대와 임피던스 정합을 위해 50Ω의 출력 임피던스 특성을 가져야 한다.

③ 수신기(Receiver)

- 50Ω의 입력임피던스를 갖는 수신기는 신호발생기에서 발생하는 주파수 범위와 같은 신호를 측정할 수 있어야 한다. 시험 시료의 차폐성능을 충분히 측정할 수 있는 넓은 동특성 범위를 가져야 한다. 수신기는 스펙트럼 분석기나 전계강도 측정기가 사용되어질 수 있다.

④ 동축케이블과 커넥터

- 동축케이블과 커넥터는 특정한 간섭이 없이 전력을 연결하는 장비이다.
이것들은 모두 50Ω의 특성 임피던스를 가져야 한다.

⑤ 감쇠기(Attenuator)

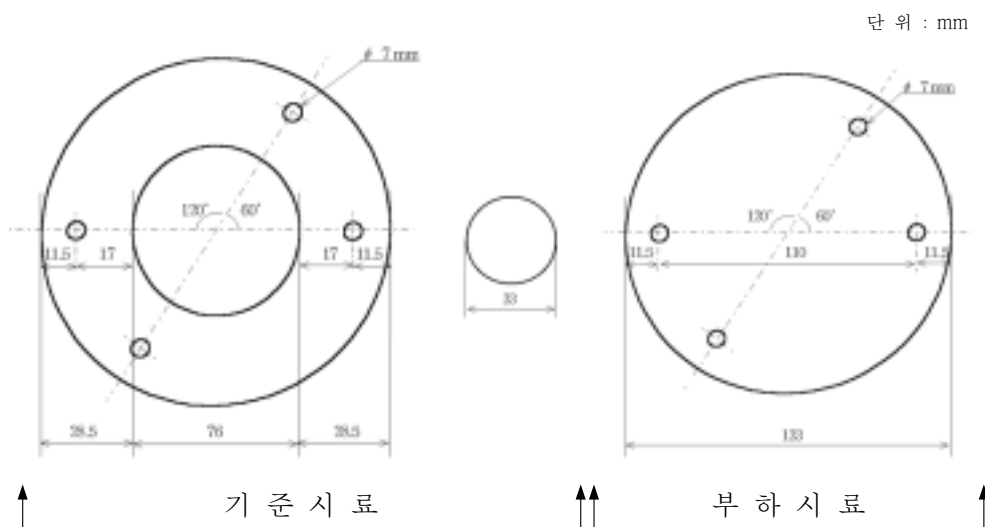
- 감쇠기는 신호발생기와 수신기로부터 시료지지대를 분리하는데 쓰여지는 장비이다. 이 방식에서 감쇠기의 주 사용목적은 임피던스

정합이다. 10dB, 50Ω 감쇠기는 시료지지대의 양쪽 끝에 각각 사용되어야 한다.

시료에서 반사된 에너지로 인한 입사 전력을 변화를 관찰하기 위해 양방향 결합기를 사용할 수 있다.

나. 측정 시료의 조건

- (1) 측정 시료는 기준 시료와 부하 시료로 구성되며, 이 두 종류의 시료는 두께와 전기적 특성이 동일하여야 한다.
- (2) 시료의 모양과 크기는 그림 5-3과 같으며 시료의 최대 두께는 5mm 이내로 해야 한다.
- (3) 시료는 균질 또는 비균질, 단층 또는 복층, 도전성 또는 절연성 물질이 될 수 있다. 비균질 물질의 측정된 차폐효과 값은 기하학적 구조에 의존하고, 측정 결과의 재현성에 있어서 균질 물질보다 떨어진다.
- (4) 실험을 하기 전에 시료는 48시간동안 온도 $23\pm 2^{\circ}\text{C}$, 상대습도 $50\pm 5\%$ 인 곳에 방치한 후 실험을 한다. 실험은 이러한 조건에서 시료를 꺼낸 후 바로 실시해야 한다.



<그림 5-3 측정 시료의 규격>

다. 측정 준비

- (1) 측정 장치의 동특성 범위는 기준 시료를 사용하여 측정된 신호 크기와 금속 부하 시료를 사용하여 측정된 최소 신호 크기를 비교하여 점검한다.
- (2) 측정 장치가 적절하게 작동하고 있는지를 확인하기 위해 이미 차폐 성능을 알고 있는 동필름 같은 표준 시료를 사용하여 측정값을 점검할 수도 있다. 알려진 다른 어떠한 시료들도 재현성을 확인하는데 사용되어질 수 있다.

라. 측정 절차

- (1) 나 항목과 동일한 기준 시료와 부하 시료를 준비한다.
- (2) 측정할 차폐효과에 대한 모든 주파수 범위 및 신호발생기 출력레벨을 정한다.
- (3) 시료를 장착하는 절차는 다음과 같다.
 - ① 시료 지지대를 수직으로 유지하기 위하여 지지 구조물을 사용한다. 두 개의 나일론 나사를 제거하고 지지대를 반대로 돌려 다른 두 개의 나일론 나사를 제거한 다음 지지대의 상측 반쪽을 들어 올린다.
 - ② 기준 시료가 올바르게 정렬되도록 주의하면서 두 조각의 기준 시료를 시료 지지대의 바닥 반쪽의 Flange 위에 놓는다.
 - ③ 나일론 나사 구멍을 정렬하기 위하여 제거되었던 시료지지대 반쪽을 다시 위치시킨다. 두 개의 나일론 나사를 다시 설치한다. 지지대를 반대로 돌린다. 다른 두 개의 나일론 나사를 다시 설치하고 동축 케이블을 접속한다.

- (4) 기준 시료를 사용하여 수신 전력(또는 전압)을 측정한다.
- ① 신호발생기의 주파수와 출력레벨을 (2)에서 선택한 대로 세팅한다.
 - ② 수신기의 수신주파수와 RBW, VBW 등을 세팅한다.
 - ③ 신호발생기의 출력을 ON 한다.
 - ④ 각각의 주파수에서 측정되어진 측정값을 P_0 또는 V_0 로 기록한다.
- (5) 기준 시료를 부하 시료로 바꾼다.
- (6) 부하 시료를 사용하여 (3)~(4)와 동일한 방법으로 기준시료 측정에서 사용된 동일 주파수에서 측정되어진 값을 P_L 또는 V_L 으로 기록한다.
- (7) 전자파 차폐 효과는 각 측정 주파수 별로 얻어진 측정값들을 차폐효과식에 대입함으로써 계산된다. IEEE-488 버스 기능을 갖는 컴퓨터 및 보조 기기를 사용한다면 이런 절차는 자동화 될 수 있다.

제6장 결 론

전자파 인체 위해에 대한 국민적 관심이 높아져감에 따라 전자파차폐에 효과가 있다는 제품들이 개발되어 시판되고 있으나 이 제품들의 성능을 측정하는 방법이 정립되어 있지 않으므로 신뢰성 있는 측정을 위해서는 이에 관한 연구가 필요한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 전자파차폐물질에 대한 여러 가지 측정방법을 조사, 검토하였으며 그 중 재현성이 우수하고, 측정시스템이 간단하며, 측정시간이 비교적 짧은 Flange형 동축전송선을 이용하여 실제로 여러 가지 차폐물질들을 대상으로 성분별, 재료별, 두께별로 각각 차폐성능을 측정함으로써 측정방법의 신뢰성을 확인 하였다.

여러 가지 차폐물질을 측정한 결과 구리, 니켈, 알루미늄 등 전도도가 높은 금속들의 차폐성능이 면, 금속 등을 합성한 직물, 혼합물질들에 비해 높은 차폐성능을 나타냈다.

합성섬유를 대상으로 차폐성능을 두께별로 측정한 결과 두께가 0.4mm 증가할수록 물질의 차폐성능이 일정 주파수 대역에서 4 ~ 5dB 정도 증가하였으며 이것은 측정시스템이 주파수에 독립적이라면 차폐성능은 물질의 전도도 및 두께에 비례한다는 이론적 결과와 일치한다.

또한 측정값의 재현성 측면에서 전체 측정 주파수 대역 (30MHz ~ 1GHz)에서의 측정값을 비교 분석한 결과 동축전송선을 이용한 측정시스템의 재현성이 우수함을 확인할 수 있었다.

모든 측정시스템 및 측정방법에 있어서 중요한 것은 측정 결과의 재현성과 짧은 측정 시간이다. Flange형 동축전송선을 이용한 시스템은 타 측정방법 보다 재현성이 우수하며, 비교적 간단하고 신속하게 물질의 차폐성능을 측정할 수 있다.

이에 Flange형 동축전송선을 이용한 측정방법을 전자파차폐물질에 대한 표준 측정방법으로 적용 하고자 전자파차폐성능 측정방법에 대한 절차를 마련하였다.

참고문헌

- [1] ASTM:D4935-89, "Standard Test Method for Measuring the Electromagnetic Shield Effectiveness of Planar Materials," 1994
- [2] ASTM:E1851-97, "Standard Test Method for Electromagnetic Shielding Effectiveness of Durable Rigid Wall Relocatable Structures", 1997
- [2] MIL-STD-285, "Attenuation Measurements for Enclosures, Electromagnetic Shielding, for Electronic Test Purposes, Method of," June 1956
- [3] IEEE Std 299-1997, "IEEE Standard Method for Measuring the Effectiveness of Electromagnetic Shielding Enclosures", December. 1997.
- [4] Satoru Kurokawa and Toru Sato, "A Compact Time-domain Evaluation Scheme for Electromagnetic Shielding Clothes", 1999.
- [5] James Baker-Jarvis and Michael D. Janezic, "Analysis of a Two-Port Flanged Coaxial Holder for Shielding Effectiveness and Dielectric Measurements of Thin Films and Thin Materials", IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, vol. 38. No. 1, February. 1996.
- [6] Wilson, p. F. ; Ma, M. T. "Shielding effectiveness measurements with dual TEM Cell", IEEE Trans. Electromagnetic Compatibility. EMC-27(3): 137-142, August 1985
- [7] Wilson, P. F. ; Ma, M. T. "A Study of techniques for measuring the electromagnetic shielding effectiveness of materials", Nat. Bur. Stand. (U.S.) Tech. Note 1095; May. 1986