

# 전자회로의 노이즈 감소기술(Ⅱ)

글/이 경 재(한전 기술연구원)

## 목 차

- I. 유도 장애 문제
- II. 도체의 실드
- III. 접 지

## II. 도체의 실드

### 1. 서 론

노이즈를 최소화시키는 두가지 근본 대책은 실드와 접지이다. 실드와 접지기술은 불가분의 관계가 있으므로 이 장에서 다루어야겠지만 접지는 다음호에서 기술하기로 한다. 물론 실드는 소재, 회로, 기구조립체, 케이블 및 송전선에 적용되고 있지만 기본적으로 도체의 실드와 같은 원리이고 또 다음에 금속판과 다른 형태의 실드에 대하여 논하므로 여기서는 도체실드를 고찰하기로 한다.

도체실드는 다음 세가지 전제조건이 있다.

- ① 실드는 비자성체이고 주파수와와의 이해관계상 외피보다는 매우 얇다.
- ② 수신기는 발생원에게 강한 결합이 안되므로 수신기가 발생원에 대하여 부담을 주지 않는다.
- ③ 수신기의 신호회로에 유도된 전류는 매우 작으므로 본래의 전계에 영향을 주지 않는다(이는 수신기주위에서는 적용되지 않는다).

위와 같은 조건이 허용되면 두개 도체간에는 정전

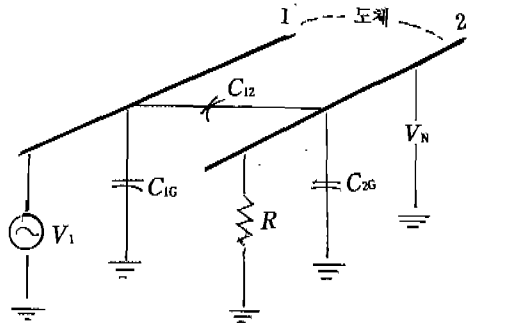
용량과 인덕턴스로 결합된 회로로 표현할 수 있게 된다.

세가지 형태의 결합으로 회로망분석이 가능하다. 첫째는 용량성 또는 전기적인 결합이라 하며 회로간에는 전계의 상호작용으로 보는 것이다. 둘째는 두 회로간에 자계의 상호작용으로 일어나는 유도성 또는 자기결합으로 보는 것이며, 셋째는 전계와 자계가 합성된 것으로 보며 전자계 결합 또는 방사(Electromagnetic Coupling and Radiation)라고 부른다. 일반적으로 가까운 경계에서는 전계와 자계를 분리해서 분석하지만 원거리에 있어서는 전자계 한가지로 고려하게 된다. 그리고 유도를 일으키는 회로를 발생원, 받는 회로를 수신기라 한다.

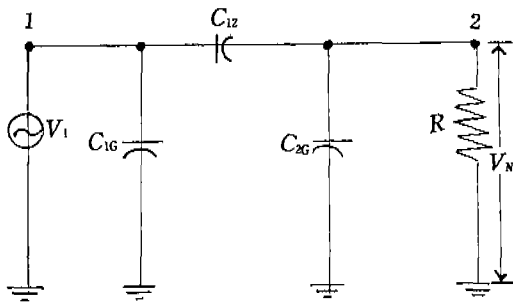
### 2. 용량성 결합

그림 2-1에 두 도체간에 용량성 결합이 나타나 있다.  $C_{12}$ 는 두 도체간에 표유정전용량(Stray Capacitance),  $C_{1G}$ 와  $C_{2G}$ 는 도체 1과 2의 대지간 정전용량이고,  $R$ 는 회로 2의 대지간 저항이다. 등가결합회로가 그림 2-1에 나타나 있고  $V_1$ 은 도체 1, 즉 장애 발생원에서 도체 2, 즉 수신측에 영향을 주는 전압이다. 여기서  $C_{1G}$ 와 같은 정전용량은 노이즈 결합회로서 별효과가 없으므로 무시할 수 있다. 도체 2와 대지간에 유기된  $V_N$ 은 다음과 같이 표현된다.

$$V_N = \frac{j\omega[C_{12}/(C_{12}+C_{2G})]}{j\omega+1/R(C_{12}+C_{2G})} V_1 \dots\dots\dots (2-1)$$



물리적 표현



등가회로

<그림 2-1> 두 도체간에 용량성 결합

실제적으로  $R$ 는  $C_{12} + C_{26}$ 보다 작으므로

$$R \ll \frac{1}{j\omega(C_{12} + C_{26})} \text{ 가 되고}$$

(2-1)식은 다음과 같이 요약된다.

$$V_N = j\omega R C_{12} V_1 \dots\dots\dots (2-2)$$

위의 식은 두 도체간의 용량성 결합에서 중요한 식이 되고 있다.

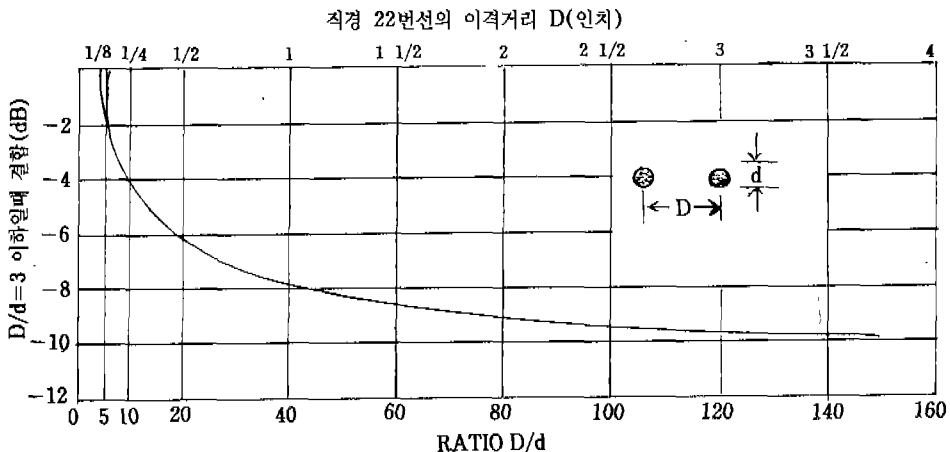
(2-2)식에서 노이즈전압은 노이즈발생원의 주파수( $\omega = 2\pi f$ ),  $R$ ,  $C_{12}$ 와  $V_1$ 에 비례함을 나타내고 있다.

노이즈발생원의 전압과 주파수가 일정하다면 정전용량성 결합에서는 두개의 파라미터를 줄이면 된다. 즉 수신측 접지회로 저항을 낮게 하거나  $C_{12}$ 용량을 감소시키면 된다.  $C_{12}$ 는 도체의 재배치나 실드(다음 항목에서 설명됨) 또는 도체를 물리적으로 분리시킴으로써 감소된다.

그림 2-2는 용량성 결합에서 도체격리효과를 나타내고 있다.

도체가 도체직경의 3배만큼 격리되었을 때 결합을 기준으로 하고, 이때의 값을 0dB라 한다. 그림에서와 같이 직경의 40배 이내에서 거의 다 줄어든다는 것을 알 수 있다(게이지 22번선에서는 1인치가 된다).

만일 도체2의 접지저항이 크면



<그림 2-2> 도체 격리효과, 22번선의 경우, 처음 1인치에서 거의 감소됨

$$R \gg \frac{1}{j\omega(C_{12} + C_{2G})}$$

따라서 (2-1)식은

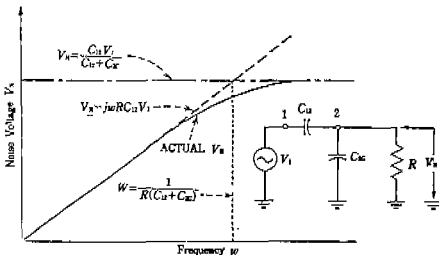
$$V_N = \left( \frac{C_{12}}{C_{12} + C_{2G}} \right) V_1 \dots\dots\dots (2-3)$$

이 조건에서는 도체2의 대지간 노이즈전압은  $C_{12}$ 와  $C_{2G}$ 용량성 전압비로 나타난다. 이때 노이즈 전압은 주파수와는 관계없고  $R$ 의 값이 적은 범위에서 큰 증가율을 보인다. (2-1)식에서  $V_N$ 와  $W$ 와의 곡선은 그림 2-3과 같다. 그림에서와 같이 최대노이즈 결합은 (2-3)식으로 주어진다. 그리고 실제 노이즈 전압은 (2-2)식보다 언제나 같거나 작게 된다는 것을 보이고 있다.

주파수의 값이 (2-4)식으로 될 때

$$W \frac{1}{R(C_{12} + C_{2G})} \dots\dots\dots (2-4)$$

(2-2)식에서의 노이즈전압 값은 실제값보다 1.41배가 된다. 주파수가 이 값보다 훨씬 작으면 (2-2)식이 적용된다.



<그림 2-3> 정전용량결합 노이즈 전압과 주파수

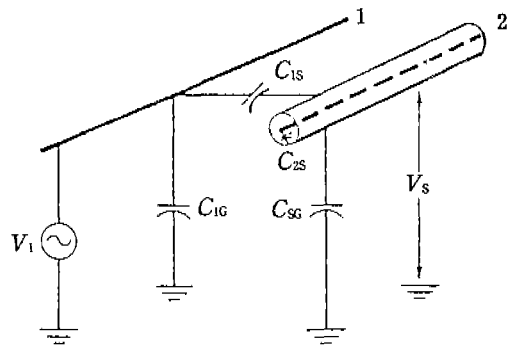
### 3. 용량성 결합에서의 실드효과

먼저 수신측(도체 2)이 대지와 무한대의 저항을 갖게 될 경우를 고찰해 보기로 한다. 도체 2가 그림 2-4와 같이 실드되었다면 실드에 걸리는 전압은

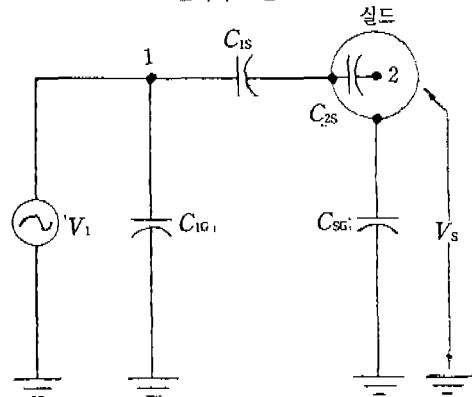
$$V_S = \left( \frac{C_{1S}}{C_{1S} + C_{2S}} \right) V_1 \dots\dots\dots (2-5)$$

$C_{2S}$ 에 전류가 흐르지 않는다면

$$V_N = V_S \dots\dots\dots (2-6)$$



물리적 표현



등가회로

<그림 2-4> 수신도체 주위가 실드된 정전용량 결합

만일 실드가 접지되면  $V_S=0$ 가 되어 도체 2의 노이즈전압  $V_N$ 은 '영'으로 감소된 것 같이 된다. 이 경우는 중심도체가 실드밖에 벗어나지 아니한 이상적인 상태이며 대표적인 것은 아니다.

실제로 완전 실드가 아니므로 그림 2-5와 같은 상태가 된다. 여기서  $C_{12}$ 는 도체 1과 실드된 도선 2 간에 정전용량이고,  $C_{2G}$ 는 도체2와 대지간 정전용량이다. 이 두 정전용량은 도체 2의 실드밖에 있는 부분이다. 따라서 비록 실드가 접지되었다 해도 도체 2에는 노이즈전압이 다음 식과 같이 나타난다.

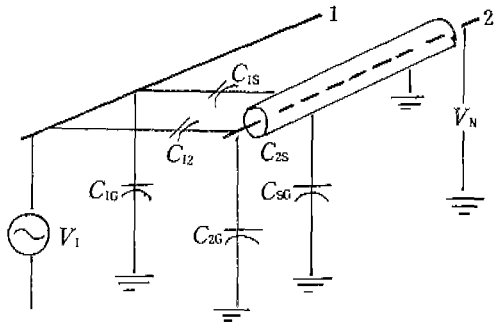
$$V_N = \frac{C_{12}}{C_{12} + C_{2G} + C_{2S}} V_1 \dots\dots\dots (2-7)$$

$C_{12}$ 의 값과 이에 따른  $V_N$ 은 실드밖에 나온 도체2

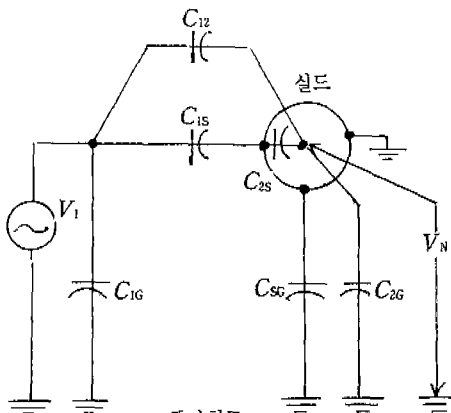
의 길이로 결정된다.

전계에 있어서의 양호한 실드는 실드밖에 노출된 중심도체 길이를 최소화하고, 실드에 양호한 접지를 구성하는 것이다.

전계중에 실드는 일단 접지가 바람직하며 케이블 길이는 파장의 1/20이내가 되어야 한다. 더 길어진다면 다점접지가 요구된다.



물리적 표현



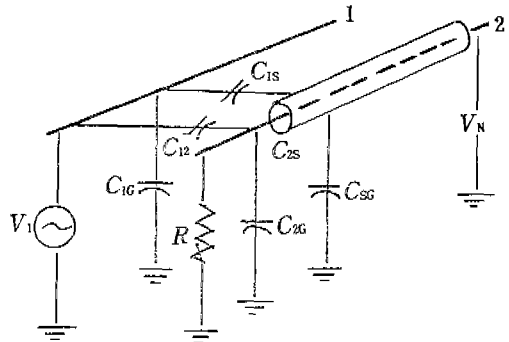
등가회로

<그림 2-5> 일단접지실드와 도체중심 일부가 실드밖에 있을 때 정전용량 결합

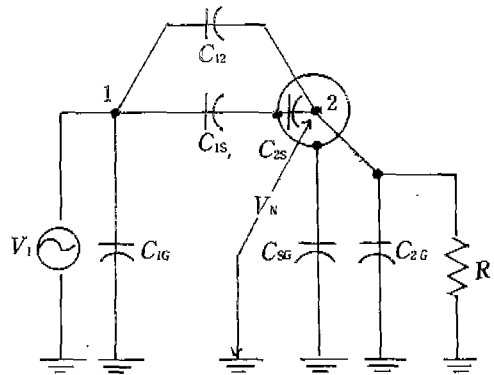
만일 수신측 도체가 일정한 저항으로 접지되었다면 그림 2-6과 같은 구성이 된다. 만약 실드가 접지되었다면 등가회로는 그림과 같이 간단히 되고 발생원측의 정전용량은 노이즈결합에 영향을 주지 않으므로 무시할 수 있다. 간략화된 등가회로는 그림

2-1에서 분석한 바와 같이 하면 되고, 먼저  $C_{2G}$  는  $C_{2G}$ 와  $C_{2S}$ 의 합으로 대체된 것과 같다. 여기서

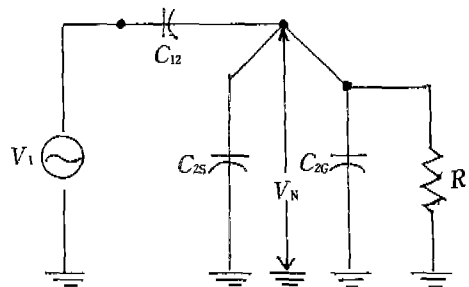
$$R \ll \frac{1}{j\omega(C_{12} + C_{2G} + C_{2S})} \text{ 이면}$$



물리적 표현



등가회로



실드접지된 등가회로

<그림 2-6> 수신측 도체가 접지되었을 때 정전결합

$$V_N = j\omega RC_{12} V_1 \dots\dots\dots (2-8)$$

이 식은 실드가 안된 케이블인 (2-2)식과 같으나,  $C_{12}$ 의 값이 실드로 인하여 크게 감소된 것이 다르다. 정전용량  $C_{12}$ 는 도체 1과 도체 2의 실드되지 않은 부분과의 정전용량이 대부분 차지하게 된다. 만일 실드가 편조된 것이라면 도체 1과 2간에 실드 구멍을 통한 정전용량이 있게 되고 이것이  $C_{12}$ 에 포함되어야 한다.

**4. 유도 결합(Inductive Coupling)**

어느 폐회로에 전류  $I$ 가 흐르면 자속  $\phi$ 가 발생한다. 즉

$$\phi = LI \dots\dots\dots (2-9)$$

여기서 인덕턴스  $L$ 는 자계안에 있는 매체의 자기적 특성과 회로의 형상에 의해서 결정된다. 인덕턴스는 폐회로에서 형성된다. 한 회로에 전류가 흐르면 제2의 회로에 자속을 발생시키고 회로 1과 회로 2사이에 다음식과 같이 상호 인덕턴스  $M_{12}$ 가 있게 된다.

$$M_{12} = \frac{\phi_{12}}{I_1} \dots\dots\dots (2-10)$$

$\phi_{12}$ 는 회로 1의  $I_1$ 에 의하여 생긴 회로 2에 나타난 자속이다.

자속밀도  $\vec{B}$ 인 자계로 인하여  $\vec{A}$ 라는 폐회로 단면에 유기된 전압  $V_N$ 는 다음과 같다.

$$V_N = -\frac{d}{dt} \int_A \vec{B} \cdot \vec{A} \dots\dots\dots (2-11)$$

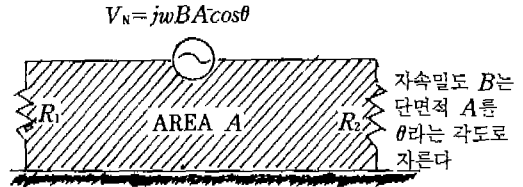
$\vec{B}$ 와  $\vec{A}$ 는 벡터이다. 만일 폐회로가 정지되어 있고 자속밀도가 시간적으로 공간내에서 변화할 뿐 아니라 루프 단면을 계속해서 지나가게 되면 식(2-11)은 다음과 같이 간소화된다.

$$V_N = j\omega BA \cos\theta \dots\dots\dots (2-12)$$

그림 2-7에 보이듯이  $A$ 는 폐회로의 단면적이고,  $B$ 는 공간내에서 주파수  $W$ (rad/sec)로 변화하는 자속밀도의 rms 값이고  $V_N$ 는 유기된 전압의 rms 값이다.

식 (2-12)는 MKS단위이다. 자속밀도  $B$ 는 Weber/m<sup>2</sup>이고, 단면적  $A$ 는 m<sup>2</sup>이다. 만일  $B$ 가

Gauss로 표현된다면  $A$ 는 cm<sup>2</sup>(CGS단위)로 되고 식 (2-12)의 우변은 10<sup>-8</sup>로 곱해야 한다.

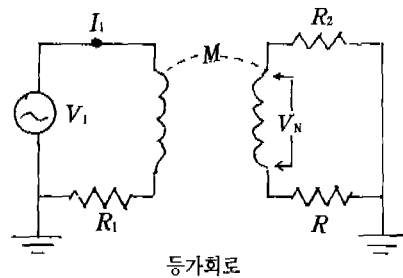
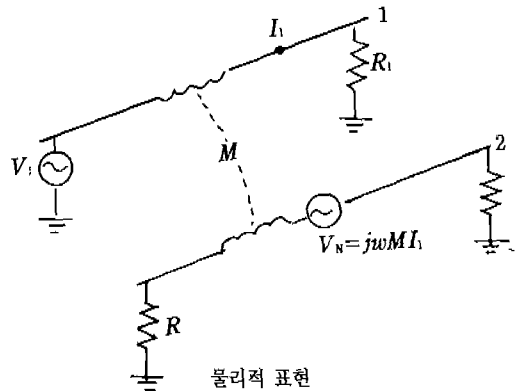


<그림 2-7> 유도 노이즈는 폐회로의 단면적으로 결정됨

위의 식을 상호인덕턴스  $M$ 로 표현하면

$$V_N = j\omega M I_1 = M \frac{di_1}{dt} \dots\dots\dots (2-13)$$

식 (2-12)와 (2-13)은 유도결합회로에서의 기본적인 식이 된다. 그림 2-8은 두 회로간에 자기결합을 나타낸다.



<그림 2-8> 두 회로간의 자기결합

식 (2-12)와 (2-13)에서 노이즈의 결합은 직 접주파수  $\omega$ 에 비례함을 알 수 있고 노이즈전압을 감소하려면  $B$ ,  $A$  또는  $\cos\theta$ 가 감소되어야 한다.  $B$ 항을 감소시키려면 회로를 격리시키든가 발신측의 도체를 트위스트시키면 두 도체에서 발생된 자속  $B$ 가 서로 상쇄된다. 수신측 회로의 단면적  $A$ 는 도체를 접지면면 가까이 설치함으로써 검사시킬 수 있으며 (만일 리턴회로가 접지면면을 이용할 때) 또는 2회로를 트위스트시키면 된다(이때에는 접지판을 쓰지 않고 도체를 사용했을 때이다).  $\cos\theta$ 는 발신과 수신측 회로의 위치조정으로 감소시킬 수 있다. 여기에서 자계와 전계결합의 차이를 언급하는 것이 도움이 될 것 같다. 첫째 자기적으로 결합된 수신회로

의 임피던스를 감소시키는 것은 전계결합에 있어서와 같이 전압감응이 감소되지 않는다. 둘째, 자계결합에 있어서는 노이즈전압이 수신도체와 직렬로 발생되지만, 전계결합에 있어서는 수신도체와 접지간에 발생된다는 것이다.

만일 도체 2에 접지와 차계실드를 하지 않았으면 그림 2-9와 같이 되고  $M_{1s}$ 는 도체 1과 실드간에 상호임피던스가 된다. 이때 실드는 도체 1과 2사이에 기하학적으로나 자기특성상의 영향을 주지 않으므로 도체 2에 주는 노이즈 전압효과는 없다. 따라서 실드에는 도체 1의 전류에 의한 전압감응만이 있게 된다. 즉

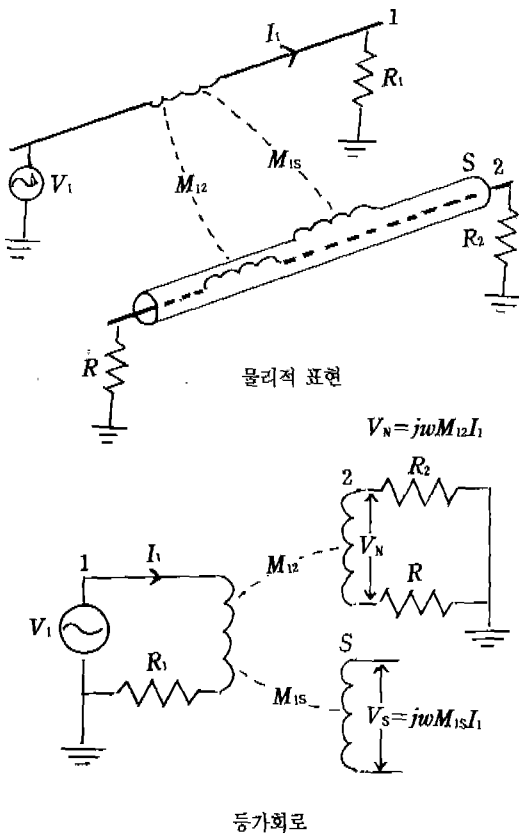
$$V_s = j\omega M_{1s} I_1 \dots\dots\dots (2-14)$$

또 실드의 일단을 접지해도 변화는 없다. 결론적으로 말하면 도체 실드의 일단접지는 자기적 결합상태에 있는 그 도체의 유기전압에 아무런 효과를 주지 않는다.

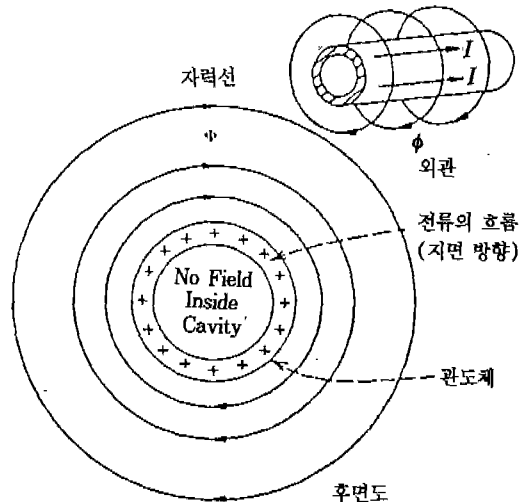
**5. 실드와 내부도체간에 자기결합**

유도결합(Inductive Coupling)을 계속 논하기 전에 금속관과 그속에 있는 도체간에 자기결합계산을 할 필요가 있다.

이 개념은 유도성 실드의 기초이론이다.



<그림 2-9> 수신도체의 실드된 자기결합



<그림 2-10> 관도체에 형성된 자계

첫째 그림 2-10과 같이 균등하게 축방향으로 전류가 흐르는 도체관에 의하여 생긴 자계를 생각하기로 한다.

만일 관내의 구멍이 바깥관과 동심원으로 되어 있다면 공동안에는 자계가 형성되지 않고 합성자계는 관 외부에 형성된다.

이제 도체를 관안에 넣어 동축케이블이 되었다면 그림 2-11 실드관에 흐르는 전류  $I_s$ 에 의한 모든 자속  $\phi$ 는 내부도체밖을 감싸게 된다.

이때 실드의 인덕턴스는

$$L_s = \frac{\phi}{I_s} \dots\dots\dots (2-15)$$

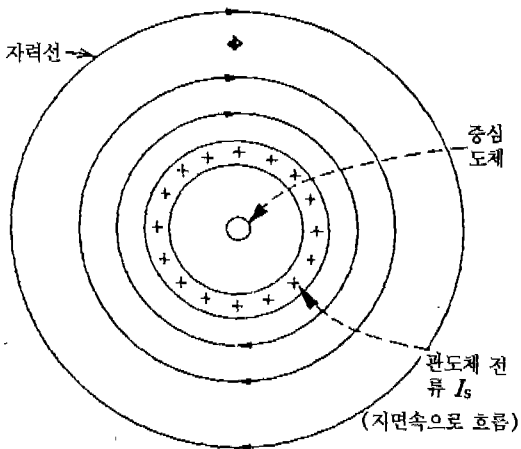
실드와 내부도체와의 상호인덕턴스는

$$M = \frac{\phi}{I_s} \dots\dots\dots (2-16)$$

실드전류에 의한 모든 자속은 내부도체를 감싸고 있으므로 위 두식은 같다. 즉

$$M = L_s \dots\dots\dots (2-17)$$

식 (2-17)은 중요한 식으로서 자주 이용되며 내부도체와 실드간에 상호인덕턴스는 실드인덕턴스와 같다는 것이다.



<그림 2-11> 실드전류가 흐르는 동축 케이블

식 (2-17)은 실드전류에 의하여 관내에는 자계가 없다는 사실을 말하고 있다.

이는 관이 원통형이며 관주위의 전류밀도가 균등

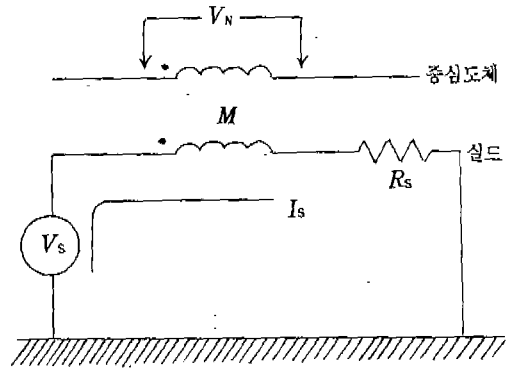
한 조건에서 성립되며 관내 중심도체의 위치에는 무관하다. 다시 말하면 두 도체는 동축이 아니어도 된다.

그림 2-12에서와 같이 전류  $I_s$ 로 인한 중심도체에 유기된 전압  $V_N$ 은 다음과 같이 계산된다.

$$V_N = j\omega M I_s \dots\dots\dots (2-18)$$

$$I_s = \frac{V_s}{L_s} \left( \frac{1}{j\omega + R_s/L_s} \right) \dots\dots\dots (2-19)$$

$$\therefore V_N = \left( \frac{j\omega M V_s}{L_s} \right) \left( \frac{1}{j\omega + R_s/L_s} \right) \dots\dots\dots (2-20)$$



<그림 2-12> 실드도체의 동기회로

여기서  $L_s = M$  이므로

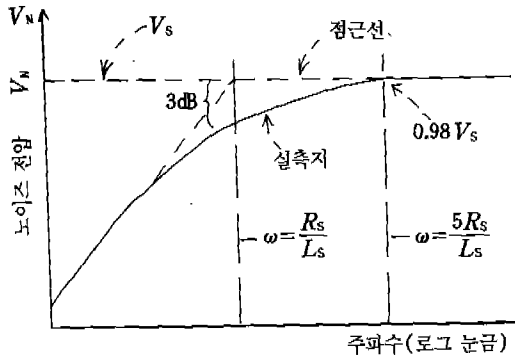
$$V_N = \left( \frac{j\omega}{j\omega + R_s/L_s} \right) V_s \dots\dots\dots (2-21)$$

(2-21)식의 그래프가 그림 2-13에 나와 있다. 이 곡선의 주파수 변환점을 실드차단주파수( $W_c$ )라 정의하고 그 값은

$$W_c = \frac{R_s}{L_s}, \text{ 또는 } f_c = \frac{R_s}{2\pi L_s} \dots\dots\dots (2-22)$$

중심 도체에 유기된 노이즈전압은  $dc$ 에서는 영이고 주파수가  $5R_s/L_s$ (rad/s)로 되면 거의  $V_s$ 로 증가된다.

따라서 실드전류가 흐르게 되면 전압이 중심도체에 유기되고 그 전압은 실드차단주파수의 5배보다 큰 주파수에서 실드전압과 같게 된다.



<그림 2-13> 실드전류로 인한 동축케이블 심선의 노이즈 전압

이것은 실드내 도체의 매우 중요한 특성이다.

각종 케이블의 실드 차단 주파수(Shield Cutoff Frequency)와 5배의 주파수의 측정치가 표 2-1에 나와 있다. 대부분의 케이블은 5배의 주파수가 음성주파수대의 높은 값 부근에 있다. 알루미늄 금박 실드 케이블은 다른 케이블보다 높은 실드차단주파수 값을 보이고 있다. 이는 그의 얇은 알루미늄 금박 실드의 저항이 크기 때문이다.

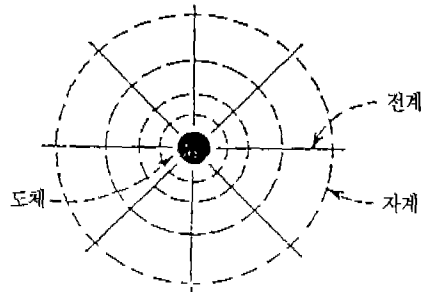
<표 2-1> 실드차단주파수( $f_c$ )의 측정치

케 이 블	임피던스 ( $\Omega$ )	차 단 주 파 수 (kHz)	5배 차 단 주 파 수 (kHz)	비 고
동축케이블				
RG-6A	75	0.6	3.0	이중 실드
RG-213	50	0.7	3.5	
RG-214	50	0.7	3.5	이중 실드
RG-62A	93	1.5	7.5	
RG-59C	75	1.6	8.0	
RG-58C	50	2.0	10.0	
실드 연선				
754 E	125	0.8	4.0	
* 24 Ga	-	2.2	11.0	
22 Ga	-	7.0	35.0	알루미늄 금박 실드
실드 단선				
24 Ga	-	4.0	20.0	

\* 11패어 케이블중 한 패어

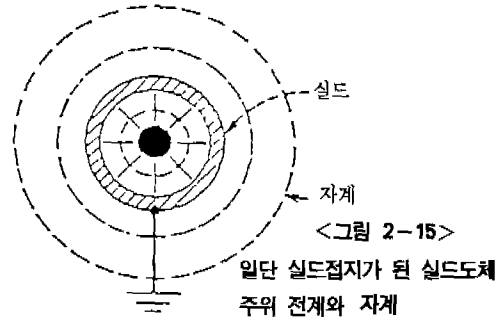
### 6. 자기방사 방지 실드

방사를 방지하기 위하여 유도장해 발생원은 실드 되어야 한다. 그림 2-14는 자유공간에서 전류가 흐르고 있는 도체주위에 형성된 전계와 자계를 나타낸다.



<그림 2-14> 도체 주위의 전계 및 자계

만일 도체주위에 있는 실드의 한쪽이 접지되었다면 전계는 실드에서 종결되고 자계만이 약간의 효과가 있게 된다. 이것이 그림 2-15에 나타나 있다.



<그림 2-15>

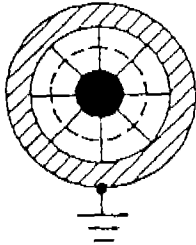
일단 실드접지가 된 실드도체 주위 전계와 자계

만일 실드전류가 중심도체전류와 같고 반대방향이면 그 전류는 크기가 같고 반대인 외부자계를 발생시킨다. 이 자계는 중심도체에서 실드까지의 자계와 상쇄된다.

이 결과가 그림 2-16에 나타나 있고 실드 밖에는 자계가 없게 된다.

그림 2-17은 양단이 접지된 회로에 전류  $I_1$ 이 흐르고 있는 것을 보이고 있다. 자기 방출을 방지하려면 실드의 양단을 접지해야 하고 귀환전류는 접지면 ( $I_G$ ) 대신에 실드( $I_S$ )의 A에서 B로 흘러야 한다.

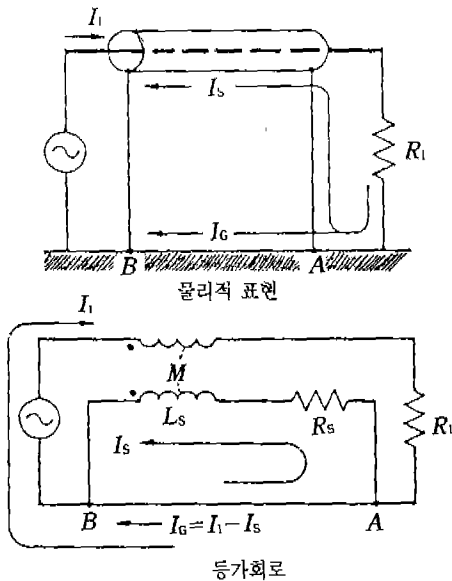




<그림 2-16> 실드가 접지되고 도체의 반대방향으로 같은 전류가 흐르는 실드도체 주위 전자계

그런데 왜 귀환전류가 제로저항 접지면을 통하는 대신에 실드의 A에서 B로 흘러야 하나?

이를 분석하기 위해 등가회로가 사용된다.



<그림 2-17> 실드와 접지간에 전류 분포

회로망 공식에 따라

$$0 = I_s(j\omega L_s + R_s) - I_1(j\omega M) \dots\dots\dots (2-23)$$

M는 중심도체와 실드간에 상호인덕턴스이며 전술한 대로  $M = L_s$ 이므로

$$I_s = I_1 \left( \frac{j\omega}{j\omega + R_s/L_s} \right) = I_1 \left( \frac{j\omega}{j\omega + W_c} \right) \dots\dots\dots (2-24)$$

위 식에서 주파수가 실드차단주파수  $f_c$ 보다 아주 크면 실드전류는 중심도체와 같게 된다. 실드와 중심도체와의 상호인덕턴스로 인하여 실드는 높은 주파수에 있어서는 접지면보다 낮은 종합선로 인덕턴스로 귀환하는 회로를 갖게 된다.

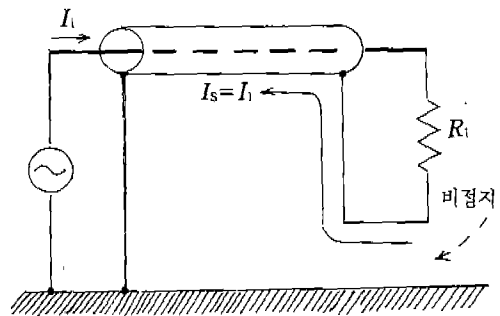
주파수가  $5W_c$  이하로 감소되면 케이블은 더욱 적은 자계실드효과를 갖게 되고 더욱 많은 전류가 접지면을 통하여 돌아오게 된다.

양단이 접지된 도체로부터 발생하는 자계방사를 방지하려면 그 도체는 실드되어야 하며 그 실드는 양단이 접지되어야 한다.

이와 같은 방법은 실드차단주파수보다 높은 주파수에서 좋은 자계차폐가 된다.

자속의 방출이 감소되는 것은 실드의 자기실드특성에 의한 것이 아니고 도체의 자속을 상쇄시키는 실드상의 귀환전류가 만드는 자속에 의한 것이다.

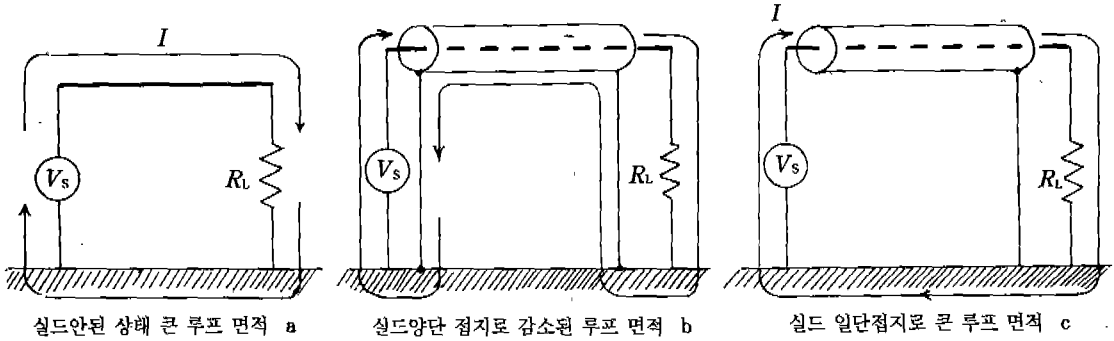
만일 회로의 접지 한 쪽이 그림 2-18과 같이 제거되었다면, 실드상으로 귀환전류가 모두 흐르게 된다. 이것은 특히 실드차단주파수보다 낮은 주파수일 때 적용한다. 이 경우 실드 양단을 접지하면 일부전류가 접지면을 통해 흐르게 되므로 실드효과가 감소된다.



<그림 2-18> 종단 비접지시 모든 귀환전류는 실드로 흐름

### 7. 자계에 대한 수신측 실드

수신측이 자계에 대하여 할 수 있는 방호 최선책은 수신회로 루프면적을 감소시키는 것이다. 면적이란 수신회로의 전류로 둘러싸인 전면적을 말한다. 중요한 관점은 발생원으로 귀환되는 전류로 구성된 통로가 된다. 매우 빈번하게 설계자가 원하는 통로보다 다른 곳으로 전류가 귀환되는 수가 있으며 이는 루프 면적이 변했기 때문이다.



<그림 2-19> 실드효과와 수신측 루프 면적

만일 도체 주위에 자체 실드를 하지 않았다면 전류를 더 적은 면적의 통로를 통해 귀환하게 해야 한다.

그림 2-19는 회로의 루프 면적상에 실드효과를 나타내고 있다. 그림 2-19 a에 있어서 노이즈 발생원  $V_s$ 는 한 가닥의 도체로 부하  $R_L$ 와 연결되어 대지를 통해 귀환된다. 전류로 둘러싸인 면적은 도체와 접지면으로 된 4각형이 된다. 그림 2-19 b는 도체 주위가 실드 되었고 양단에서 접지된 것을 보이고 있다. 만일 전류가 접지면 보다도 실드를 통하여 귀환되면 루프면적은 감소된 것이고 어느 정도의 자기적인 보호가 된 셈이다. 만일 주파수가 전술한 바와 같이 5배의 실드차단주파수보다 크면 모든 전류는 실드로 흐르게 된다. 그림 2-19 c에서와 같이 도체 주위는 실드되었고 한 쪽만 접지되었다면 루프면적은 변하지 않으므로 자기적인 보호가 되지 않는다.

그림 2-19 b의 배치에서도 실드차단주파수보다 낮은 주파수에서는 대부분의 전류가 접지면으로 흐르기 때문에 자체에 대한 보호가 불가능하다. 이 양단접지는 다음 두가지 이유로 저주파수에서는 피해야 한다.

(1) 실드가 회로도체의 한부분이 되므로 거기에 흐르는 노이즈전류는  $IR$ 라는 노이즈전압강하를 일으킨다.

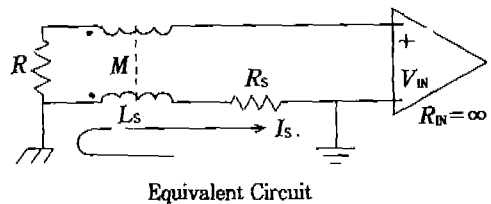
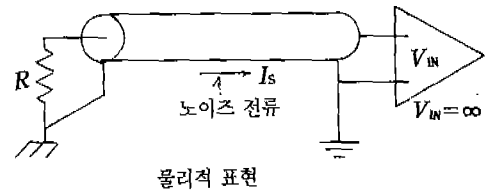
(2) 만일 실드양단간에 대지전위차가 있으면 이

것 역시 회로내에 노이즈전압으로 나타나게 된다.

따라서 저주파회로가 양단접지일 경우 접지루프에 큰 노이즈전류가 흐르게 되어 극히 제한된 양의 자체보호만이 가능하다.

이 전류가 신호도선에 흐르게 되면 노이즈전압이 실드에 발생하며 이는 실드전류와 실드저항을 곱한 것과 같고 이것이 그림 2-20에 나타나 있다. 전류  $I_s$ 는 대지전위차 또는 외부노이즈결함으로 생긴 실드에 흐르는 노이즈전류이다.

만일 이러한 노이즈 전압이 입력루프에 가해지면 신호 입력전압은 다음 식으로 표현된다.



<그림 2-20> 동축케이블의 실드에 흐르는 노이즈 전류 효과

$$V_{IN} = -j\omega M I_S + j\omega L_S I_S + R_S I_S \dots\dots (2-25)$$

전술한 바와 같이  $L_S = M$ 이므로

$$V_{IN} = R_S I_S \dots\dots\dots (2-26)$$

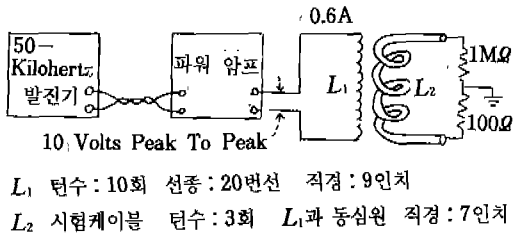
실드전류가 있는 한  $I_S R_S$  전압강하로 인해 실드내에 노이즈전압은 언제나 발생한다.

비록 실드가 한 쪽만 접지되었다해도 정전용량으로 결합되었으므로 실드노이즈전류가 흐르게 된다.

그러므로 저주파수에서의 최대노이즈보호를 위하여는 실드가 하나의 신호도선이 되어서는 안된다. 그래서 한 쪽은 접지와 분리되어야 한다.

**8. 실험 결과**

여러가지 케이블에 대한 자체실드특성을 측정비교하였다. 시험방법과 양단접지할 때와 편단접지할 때의 실험결과가 그림 2-21과 그림 2-22, 23에 나와 있다.

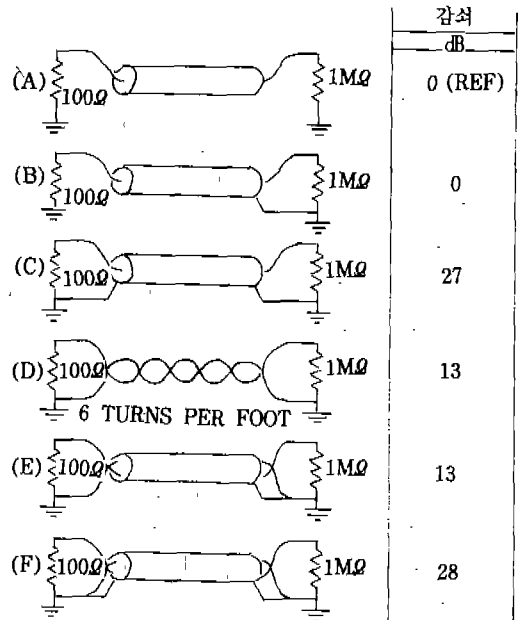


$L_1$  턴수: 10회 선종: 20번선 직경: 9인치  
 $L_2$  시험케이블 턴수: 3회  $L_1$ 과 동심원 직경: 7인치

<그림 2-21> 전자유도결합 시험회로

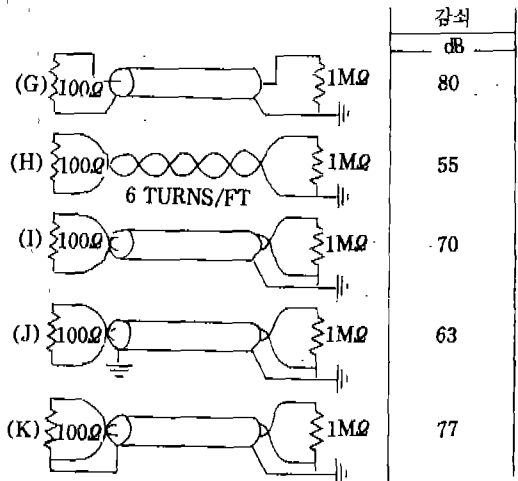
시험주파수는 모든 케이블의 5배의 실드차단주파수보다 큰 50kHz를 사용했다.  $L_2$ 는 시험케이블이다. 양단 접지인 A부터 (F)회로는 편단접지인 (G)부터 (K)까지의 회로보다 매우 작은 자체감쇄를 보이고 있다. 회로(A)는 자체실드가 안된 것이며 1 MΩ 저항에 나타난 노이즈 전압은 0.8V이다.이(A) 회로에서의 픽업치를 기준치 0dB라 하고, 다른 케이블회로와의 특성을 비교했다.

(B)회로와 같이 실드의 편단이 접지되면 자체실드 효과는 없다. (C)회로에서는 실드양단이 접지되었고 주파수가 실드차단주파수보다 크므로 약간의 자체보호가 나타난다. 보호효과가 비록 커졌으나 그



시험주파수=50 kilohertz For All Tests

<그림 2-22> 양단접지시 유도결합 실험



시험주파수=50 kilohertz For All Tests

<그림 2-23> 편단접지시 유도결합 실험

것은 회로의 양단을 접지해서 형성된 접지루프 때문이 아니다. 자체가 케이블 실드와 양단접지로 된 저임피던스접지 루프에 흐르는 큰 노이즈전류를 유기

하기 때문이다.

회로 (D)에서 연선(Twisted Pair)을 사용할 경우 큰 자계노이즈 감소가 있지만 그의 효과는 회로 양단 접지로 된 접지루프에 의하여 상실된다. 이것은 (H)회로와 비교하면 명백히 알게 된다. (D)회로에서 편단접지된 실드를 추가하면 (E)와 같이 되나 효과가 없다. (F)에서와 같이 실드 양단에 접지하면 추가적인 보호가 된다. 이것은 저임피던스인 실드회로가 일부의 전자유도된 접지루프전류를 분담하기 때문이며, 신호선에 노이즈전류를 자기적으로 감쇠시킨다. 따라서 회로가 양단접지가 되어야 한다면 (C)와 (F) 구성이 사용되어야 한다.

회로 (G)는 자계실드에 큰 개선을 보이고 있다. 이것은 동축케이블로 매우 작은 루프면적이 형성되었기 때문이며 실드효과를 상실케 하는 접지루프가 없기 때문이다.

동축케이블은 매우 적은 루프면적을 만들어 주고 그 실드는 중심축에 놓인 등가도체로 표현할 수 있다. 그래서 실드는 중심도체에 아주 가깝게 있게 된다. 회로 (H)의 연선에서는 55dB이상의 실드효과가 기대된다. 감소된 실드는 어느 정도의 전체결합이 나타나기 시작한 사실에 기인한다. 이것은 회로 (I)에서 알 수 있듯이 연선주위에 실드를 함으로써 감쇠가 70dB로 증가되었다.

회로 (G)에서 감쇠가 (I)보다 개선된 사실은 특수한 동축케이블이 연선보다도 자계에 대하여 보다 작은 루프면적을 갖는 데에 있다. 이것은 일반적으로 적용되는 사실이 아니지만 (H나 I)에서 연선의 피드백 턴수를 증가시키면 픽업을 감소시킬 수가 있다.

대개, 회로 (I)는 회로 (G)보다 저주파수 자계실드에 선용된다. 그것은 (I)에 있어서 실드는 하나의 신호선이 아니기 때문이다.

회로 (J)에서와 같이 실드양단을 접지하면 실드효과가 약간 감소된다. 이것은 실드가 두개의 심선에 차이나는 전압을 유기시켜서 형성된 접지루프에 흐르는 실드전류로 인한 것이다. 회로 (K)는 (I)보다 좋은 실드가 된다. 그것은 연가 (I)와 동축 (G) 구

성이 조합되었기 때문이다.

회로 (K)는 실드상에 어떤 노이즈전압이나 전류가 신호선에 흐를 수 있기 때문에 보통 쓰이지 않는다. 대체적으로 실드와 신호선은 한 점에서 같이 연결하는 것이 좋다.

또 그 점에서는 노이즈전류가 실드로만 흐르게 하여 외부에서 오는 자계와 상쇄되게 하며 일부 접지로 흐르는 전류가 신호선에 흐르지 않도록 해야 한다.

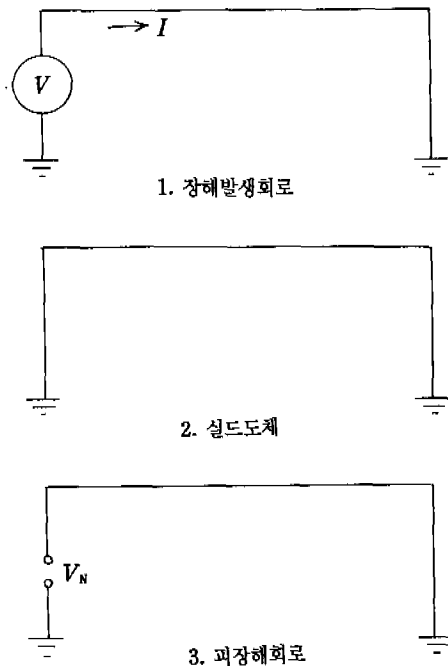
### 9. 차폐계수

차폐계수는 실드 안되었을 때와 실드되었을 때와의 유기된 전압의 비율로 정의된다. 차폐계수는  $\eta$ 는

$$\eta = \frac{V_N(\text{실드 됨})}{V_N(\text{실드 안됨})} \dots\dots\dots (2-27)$$

그림 2-24는 일반적인 실드 시스템의 구성이며

(1) 장애발생 도체, (2) 실드된 도체, (3) 피장해 도체로 나타내었다.



<그림 2-24> 일반적인 실드시스템, 중간실드 도체 2는 노이즈 원 1과 수신도체 3사이에 있음

회로 2의 자기임피던스를  $Z_{22}$ , 그리고  $Z_{12}$ ,  $Z_{13}$ 과  $Z_{23}$ 을 회로 1-2, 1-3 및 2-3의 상호 임피던스라 하면 차폐계수는

$$\eta = 1 - \frac{Z_{12} \cdot Z_{23}}{Z_{13} \cdot Z_{22}} \dots\dots\dots (2-28)$$

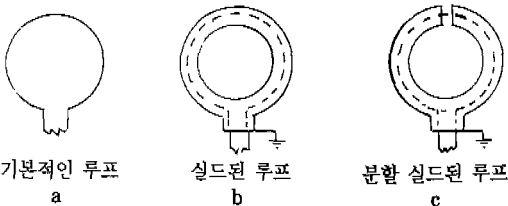
과 같이 된다.

**10. 선택 실드사례**

실드된 루프 안테나는 자계에는 영향없고 전계만을 선택적으로 실드하는 하나의 예이다. 이러한 안테나는 라디오 방향탐지에 유용하다. 이것은 방송수신기에 안테나 노이즈 픽업을 감소시킬 수 있다. 대부분의 로컬 노이즈 발생원은 현저한 전계를 발생하고 있기 때문에 이것의 효과는 매우 크다. 자계로 인해 루프안테나에 발생된 전압은 (2-12)식에 의하여

$$V_m = 2\pi f B A \cos\theta \dots\dots\dots (2-29)$$

$\theta$ 는 자계와 루프 평면의 수직선과의 각도이다. 또한 루프는 수직안테나로 작용하며 주변에 전계로 전압이 유기된다.



<그림 2-25> 분할 실드 루프안테나(자계는 통과되나 전계만 선택적으로 감소시킴)

이 전압은 전계(E)와 안테나 유효높이의 곱이 되며 원형 단순루프 안테나에서는 유효높이가  $2\pi A/\lambda$ 이므로 전계에 의한 유기전압은

$$V_e = \frac{2\pi A E}{\lambda} \cos\theta' \dots\dots\dots (2-30)$$

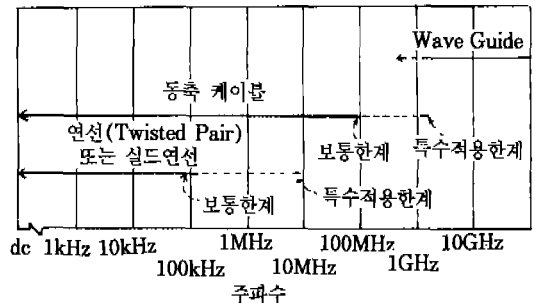
$\theta'$ 는 전계와 루프평면간에 각도이다. 전계에 의한 픽업을 제거하려면, 루프는 그림 2-25 b와 같이

실드되어야 한다. 이 구성은 실드전류를 흐르게 함으로써 전계와 같이 자계도 상쇄시킨다. 루프에 자계 감응도를 유지하려면 분할된 실드 틈새가 있어야 한다. 그림 2-25 c의 안테나는 상부에 분할된 실드 틈새가 있어 적용될 전파의 자계요소에만 응답케 하는 것이다.

**11. 동축케이블 대 실드연선**

동축케이블과 실드된 연선(Twisted Pair)을 비교하는 것은 양 케이블의 유용성을 파악하는데 중요하다.

그림 2-26에서와 같이 실드된 연선(Shielded Twisted Pair)은 100kHz이하의 주파수에서 매우 유용하고 특수한 경우 10MHz까지 적용되나 1MHz 이상이면 손실이 증가된다.



<그림 2-26> 통신선별 적용 주파수 범위

한편 동축케이블은 손실도 적고 더 광범위한 특성을 갖고 있다. 따라서 영(dc)주파수로부터 VHF주파수까지, 때로는 UHF에까지 유용하다. 수백MHz가 넘으면 손실이 커지고 이때에는 웨이브 가이드(Wave Guide)가 더 실용적이다. 실드연선은 동축케이블보다 더 큰 정전용량을 갖고 있으므로 높은 주파수에서나 높은 임피던스에서는 사용되지 않는다. 편단이 접지된 동축케이블은 정전용량 유도를 방지하는데 좋으나, 만일 노이즈전류가 실드내를 흐르게 되면 노이즈전압을 일으킨다. 실드가 신호회로의 일부이므로 노이즈 전압은 입력신호와 직렬로 된 노이즈로 나타난다. 이중 실드나 두개의 실드로 절연된 3중 동축케이블은 실드저항으로 생긴 노이즈를

제거할 수 있다. 노이즈전류는 외곽실드로 흐르고 신호전류는 내부실드로 흐른다. 이 두 전류(신호와 노이즈)는 공용임피던스를 통해서 흐르지 않는다.

불행히 3중동축케이블은 비싸고 사용에 불편하다. 그런데 동축케이블은 높은 주파수에서 표피효과로 3중동축케이블과 같이 동작한다. 이런 이유로 높은 주파수에서는 동축케이블이 유리하다.

실드된 연선은 3중동축케이블 특성과 같고 비싸거나 불편하지 않다. 신호전류는 내부의 트위스트된 두 도체에 흐르고 노이즈전류는 실드로 흐른다. 더욱이 실드 전류가 내부의 두도체와 균등한 상호임피던스로 결합될 때 노이즈전압은 없어진다.

실드 안된 연선은 균형이 맞지 안더라도 정전유도에 대하여 매우 적은 보호는 하지만 전자(자계)유도에 대하여는 좋은 보호를 한다. 실드된 연선은 전자(자계)유도가 큰 문제인 저주파수 신호를 위한 실드에는 가장 좋다.

단위 길이에 대한 연선 회수가 클수록 효과는 더 커진다.

### 12. 편조된 실드

모든 케이블은 실제로 금속교체보다 편조된 실드를 쓰고 있다. 그것은 유연성, 내구성, 강도 등의 이유이다. 편조실드는 금속교체실드보다 60~90%의 차폐를 하고 실드효과도 적다. 편조실드는 전계실드를 작게 감소시키나, 자계실드는 크게 감소시킨다.

그 이유는 편조는 실드전류의 균등화를 변형시키기 때문이다. 편조실드는 금속교체실드보다 자계에 대한 보호효과가 5~30dB정도로 적다.

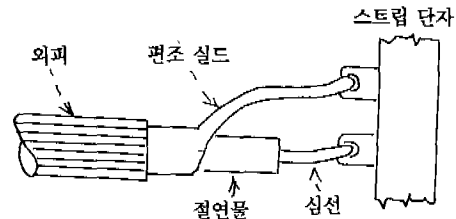
주파수가 높을수록 편조실드 효과는 감소된다. 그것은 주파수가 커질수록 파장에 비하여 편조의 구멍이 커지기 때문이다. 다중편조는 보다 큰 보호를 하나 고가이고 유연성이 적어진다. 특수한 적용분야에는 2중 또는 3중의 실드가 사용된다. 근래에는 알루미늄 금박실드가 적용되고 있다. 이들은 편조보다 강도가 적으나 거의 100%의 차폐와 그의 높은 실드저항으로 인해 높은 실드차단주파수를 갖는다.

### 13. 실드전류의 불균등성

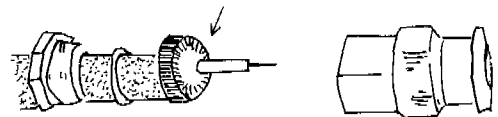
자계실드에 대하여 전술한 것과 같이 이것은 실드 주위에 축방향으로 흐르는 실드전류분포의 균일성으로 결정된다. 따라서 알루미늄 금박실드와 같은 금속체 실드가 가장 균등한 실드전류 분포를 형성하므로 실드차단주파수이상의 주파수에서도 좋은 자계실드를 제공한다. 편조된 실드는 금속체 실드보다 전류분포가 불균일하여 자계실드효과가 적다. 편조는 판금으로 짤 수가 있다. 보통 납 또는 은으로 그리하면 전류가 잘 접촉된 도체와 도체사이를 균등하게 흐르게 된다.

판금으로 짤지 않은 실드는 산화막이 생김으로써 편조선간에 전기적인 접촉이 불량하게 된다.

케이블 단말근처의 자계실드효과는 편조의 단말처리방법에 달려 있다.



<그림 2-27> 돼지 꼬리형 실드 결선(실드 한쪽으로 전류를 집중시킴)



<그림 2-28> BNC접속기 분해도(360° 실드에 접촉됨)

그림 2-27은 돼지꼬리형 결선이며, 실드전류가 실드의 한쪽으로 집중되고 있다.

최대의 보호를 위해 실드는 전단면에 골고루 단말처리되어야 한다. 이것은 동축케이블 커넥터, 즉 BNC, UHF나 N형 커넥터를 쓰면 된다. 그림 2-28은 실드에 대한 360도 전기적인 접촉이 되는 커넥터를 보이고 있으며 전계실드의 완벽성을 유지하기 위한 동축케이블의 단말처리로서 내부의 전연 구조가 나와 있다.

<다음호에 계속...>