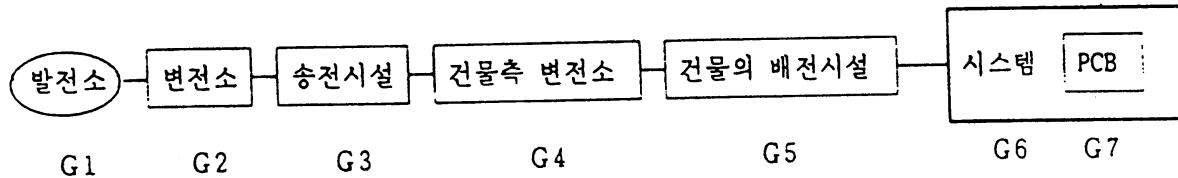


# 전자파 대책을 위한 접지체계

## 1 접지체계 개론

### 가. 컴퓨터 접지의 다양성

자동화 기기가 전자기적인 에너지에 의해 손상을 입거나 오동작을 일으키지 않도록 하는 방법에는 차폐(Shielding), 필터링(Filtering), 접지(Grounding System)가 있다. 이중에서 일반인들의 생각과 달리 가장 어려운 것은 접지이다. 접지의 경우 시스템의 구성과 크기와 사용 주파수에 따라 접지방식이 달라질 수 있기 때문이다. 물론 기본적인 방법이 달라지는 것이 아니라 반드시 수많은 변수가 있다. 뿐만 아니라 발전소로부터 송전선을 거쳐 기기내 PCB까지의 접지경로를 생각해 보면 복잡하고 어려워진다. 따라서 접지는 결코 접지봉을 지하에 매설하거나 박는 것이 아니며 매우 범주가 넓다. 이 계통상에서 단 1곳에서만 잘못 접지해도 자동화 기기 즉 프로세서 제어기기는 오동작하기 쉽다. 접지와 관련된 계통과 주요 문제점은 다음과 같다.



(그림 5-1) 전력계통에 따른 접지의 역할

### 계통별 주요사항

G1 : 기기의 외함접지, 인체안전, 제어설비의 접지, 낙뢰 및 정전기 방지

G2 : 낙뢰, 외함접지, 지하케이블 접지, 제어설비의 접지(컴퓨터 또는 센서)

G3 : 인체안전을 위한 접지, 제어설비(각종센서 및 통신)의 접지, 낙뢰

G4-5 : 전력감시장치, 각종 센서, 인체안전, 낙뢰, 3상 또는 상변환-2차측접지, UPS 및 각종 전원장치와 전산실의 접지, 낙뢰방지용 접지, 정밀계측기 접지선 처리, 건물 고유접지와 철 구조물과의 연결여부, 낙뢰접지와 시스템 접지와의 연결여부, 고층건물 충간 장비의 배열과 접지, 대형공장

의 공장간 전산망의 접지처리, 장비의 충설이나 신설시 접지선 연결방법, 고층건물에서 전산실 선정위치, 실드룸이 있는 건물에서 접지방법, 1개의 건물에 교환기와 같이 대형장비가 있는 경우의 접지방법, 1~3개의 랙으로 된 이동통신 기지국사와 같은 기기가 설치되는 경우 기존 건물 접지를 사용할 것인지 새로운 접지를 해야 할 것인지 결정여부, 건물이 다르고 통신망이 있는 기기의 접지 방법을 어떻게 할 것인가?

- G6-7 PCB의 DC Common과 함체접지(건물접지)와 접지처리방법, SMPS 또는 트랜스와 정류회로 전원장치와 접지방식의 차이, 통신 Port와 실드선의 접지처리 방법, PCB상에서 부품의 배열, VCC 와 DC Common선의 배열, 프로세서 제어기기의 센서선 처리방법, 부품의 배열 방법, 접지 루프의 최소화(크기, 숫자)방법, 전원선 및 통신선의 배관방법, 대전류 사용기기 주변에서 모니터의 화상 변화를 일으키는 경우 등 접지는 위와 같이 많은 경우가 있으며 다양하다.

#### 나. 접지의 목적

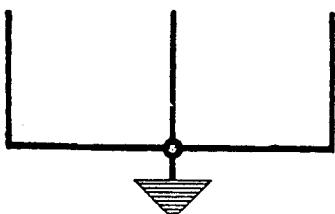
접지의 근본적인 목적은 시설물과 인체를 보호하고 누전에 의한 화재를 방지하며 기기간의 전위차를 조절하기 위한 것으로, 만일 접지가 올바르게 되지 않으면 앞서의 목적을 달성할 수 없다. 접지의 목적 중 안전(Safty)이란 전원선의 함체단락이나 누전에 의해 함체가 전위를 갖게 될 때 사람이 만져서 전기적인 쇼크를 받거나 전류가 흘러 자율신경계의 근육이 멈추거나 화상을 입게 되는데 이를 방지하기 위한 접지를 말하며 기기의 외함이 대지와 동전위를 유지하기 위해 하는 접지를 의미한다.

접지의 목적은 [그림 5-3]에서 보는 바와 같이 크게 4가지가 있다.

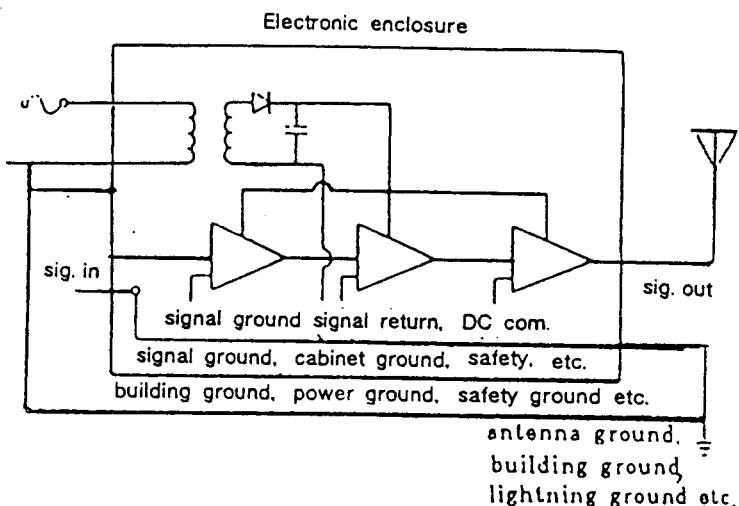
- 전원의 함체단락시 기기와 인체의 안전
- 낙뢰방지
- 회전 운동체의 대전된 전하의 방전경로
- 전자기기에서 방사되거나 유입되는 불요 전자파의 By Pass 경로

기기의 안전에 있어 [그림 5-3 (a)]와 같이 상용전원이 절연불량 등 여러 원인에 의해 함체에 단락되었을 때 퓨즈와 접지선을 통해 기기의 안전을 도모하는 데도 이용된다. [그림 5-3 (b)]에서 보는 바와 같이 낙뢰유입시 유입전류의 바이패스 경

Signal  
Ground  
(Low Level)  
Power  
Ground  
(Relays, Motor)  
Safty  
Ground  
(Chassis)



(a) 접지의 기능별 구분



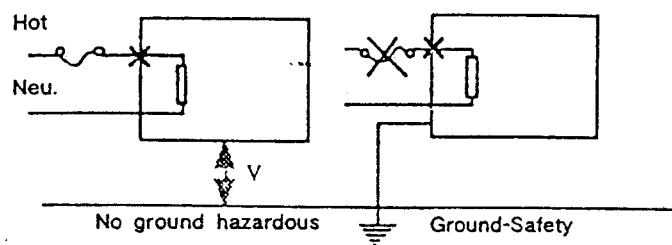
(b) 사용기기별 접지의 분리사용

(그림 5-2) 회로상에서 접지의 다양한 기능

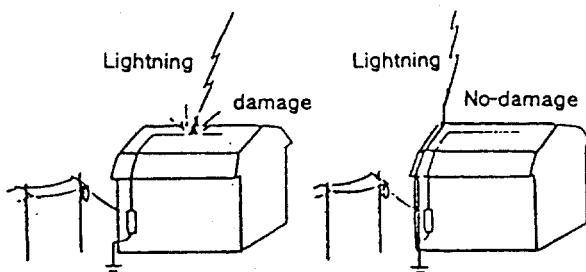
로로 사용되며, [그림 5-3 (c)]는 회전체의 운동에너지에 의해 대전된 전하가 접지측으로 흐르도록 하기 위해 접지를 한다.

최근 들어 추가된 접지목적으로 [그림 5-3 (d)]에서 보는 바와 같이 기기내부에서 발생된 불요 전자파와 외부에서 유입된 서지 등의 전자파 에너지를 접지측에 흐르도록 하기 위해 접지한다.

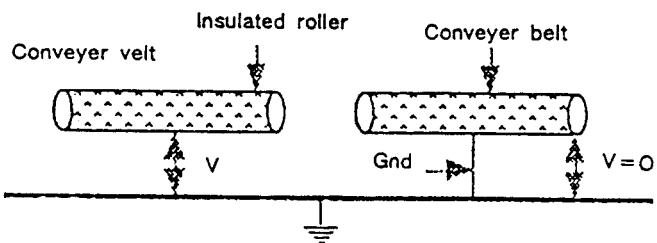
이와 같이 시스템의 접지를 한다는 것은 에너지 전달에 있어 이상적인 것은 못되더라도 인체의 보호, 기기 및 전자부품의 손상방지와 기기의 전자파에 의한 오동작을 방지하기 위해 대부분의 전자장비를 접지한다.



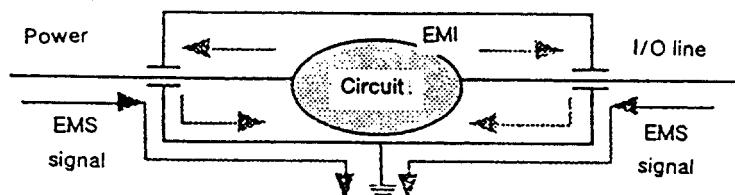
(a) Grounding for safety



(b) Grounding for lightning protection



(c) Grounding for Electro Static Discharge



(d) Grounding for Electro Magnetic Compatibility

[그림 5-3] 접지의 목적

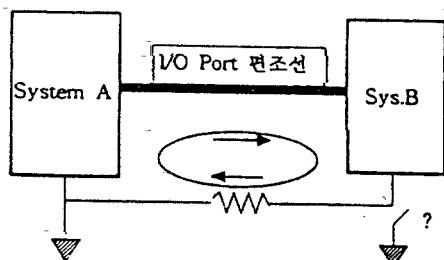
## 2 컴퓨터 접지의 용어정의와 접지체계(사례중심)

### 가. 접지의 용어

접지에 대한 용어는 원서를 보면 책마다 다르고 유사한 단어가 많다. 여기서 말하는 용어의 정의는 동사(Verb)가 아니고 명사(Noun)이다.

① Ground : 영문에서는 단지 다른 단어를 보조하기 위해 사용되는데, 일례로 다음에 설명될 Ground Loop라는 용어가 있다.

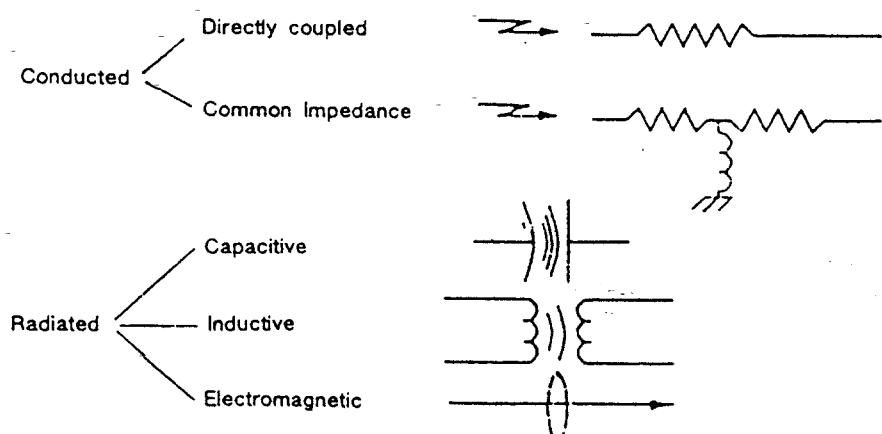
② Gorund Loop : 접지루프로 번역하며 자동화 기기의 오동작과 가장 관계가 깊은 용어로 이는 접지를 2곳에 하고 통신선의 편조선으로 기기의 함체가 연결될 때 이를 접지루프라 한다.



[그림 5-4] Ground Loop의 일례

접지 루프는 위 그림의 장비간의 예를 제외하고, 미시적으로 보면 시스템내 PCB 간에 또는 PCB내 DC 공통선(−선)에 의한 루프도 장비의 신뢰성에 중요한 요소로 작용한다.

#### (1) Grounding Loop Coupling(접지루프에 의한 결합)



[그림 5-5] 전자파의 결합

컴퓨터나 프로세서 제어기기의 오동작은 대부분 접지루프에 의한 결합에 의해 발생되는데 이는 2개이상의 접지루프가 존재할 때 상호 인덕턴스나 접지선의 면적과 길이에 따른 용량성 결합을 의미한다.

#### (2) Earth(일반적인 의미의 접지)

접지봉, 접지판, 접지망을 땅에 묻어 낙뢰전류, 누전전류, 잡음전류, 대전전류 등이 전위가 낮은 대지 측으로 용이하게 소산될 수 있도록 경로를 제공하는 것.

#### (3) Reference

대지에 대한 상징적인 0 V 기준전위를 말하며, 장비나 시스템에서 기준이 되는 전위를 말한다.

#### (4) Return(궤환선)

2선에 의해 신호나 에너지가 전달될 때 전위가 낮은 선 즉(neutral 혹은 -선)을 의미하는데, 동축선로의 경우 외부의 편조선을 말하며, 일반적으로 에너지원으로부터 출발된 전하가 부하를 거쳐 되돌아 오는 측을 말한다.

#### (5) Bonding

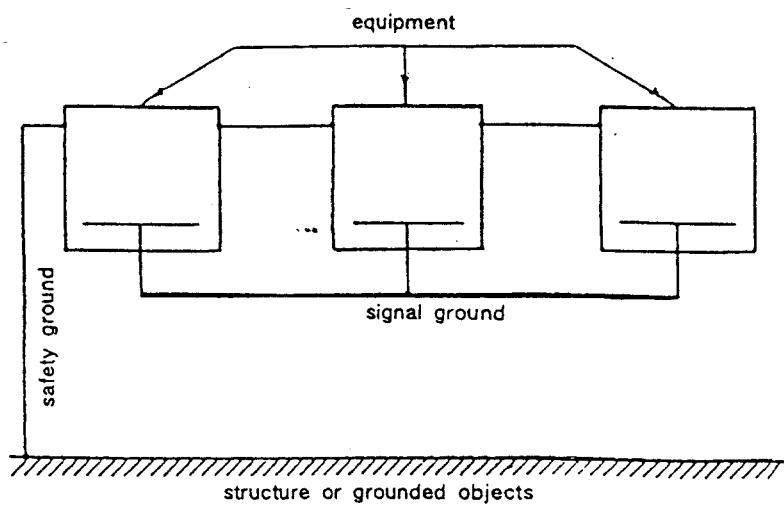
2개의 도체를 낮은 임피던스를 갖도록 연결하는 것을 의미하며, 일례로 2개의 철재를 삽입식이나 조임으로 연결하여 금속간에 낮은 저항을 갖도록 별도의 동선 등을 사용하여 확실하게 전도성을 갖도록 하는 것을 말한다. 이는 때로 접지와 혼용하여 사용되기도 하는데 용접보다 접촉저항이 크다.

#### (6) Floating

플로팅이란 (그림 5-6)에서 보는 바와 같이 신호선의 접지(DC Common, 혹은 -)가 전기적으로 벌딩이나 설비접지선과 연결되지 않는 것을 말하며 이는 일반적인 설비의 신호접지 형태이다.

이 방법은 접지선에 흐르는 잡음전류가 전도적으로 신호선에 유입되는 경로를 차단하기 위해 분리설계한 형태이다. 일반적으로 PCB상의 DC공통선(-선)과 함체 접지와는 분리가 원칙이며, 필요시 용량성 접지(223용량)이나 100uH의 인덕터로 연결하여 접지시키기도 한다.

단, 컴퓨터의 입출력선은 입력측에서 관통형 컨덴서 등으로 함체에 직접연결하면 아주 좋은 특성을 나타내기도 한다.



[그림 5-6] Floating과 신호접지

#### (7) Single point ground(1점 접지)

1점접지는 나무 형태로 뿌리에서 가지로 가는 줄기와 같이 접지루프가 발생되지 않도록 하는 접지 방식을 말하며 이는 앞서 설명한 접지선 루프에 의한 결합에 의해 전자파의 용이한 전달과 결합을 막기 위해 가장 일반적으로 권고하는 접지 형태이다.

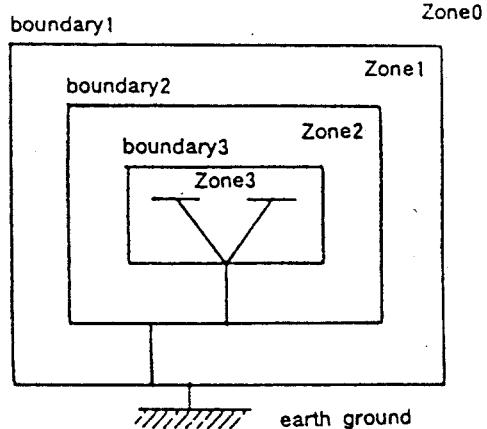
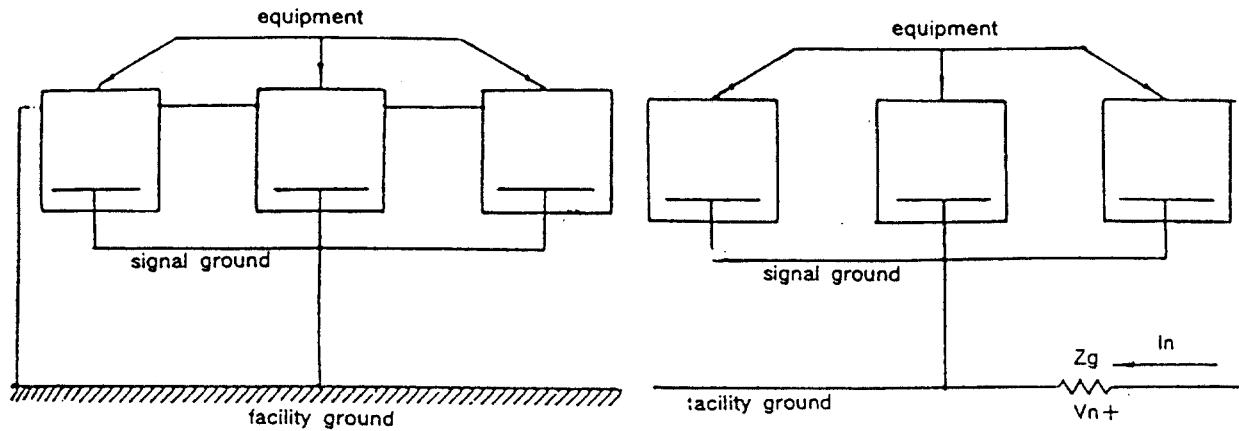
이에 대한 단점은 설비가 큰 경우 접지선의 길이가 길어지는 것과, 이에 따라 접지선이 굵어지고 비용이 상승하며, 복잡한 설비의 경우 기기의 설계와 설치 방법에 따라 상당한 주의를 해야 한다는 점이다.

1점 접지의 예를 (그림 5-7)에서 나타내 주고 있는데 (a)는 신호선 접지를 별도로 하여 설비 접지에 연결해 주고, 전원선을 통해 인출된 접지선을 함체에 부착하여 안전을 위해 사용하고 있다.

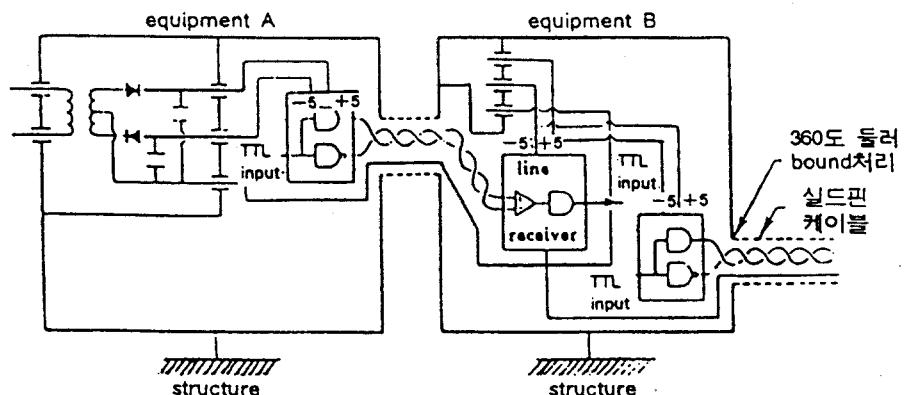
물론 신호선 접지에 연결한 접지선은 전원선 접지가 아닌 별도의 Clean 접지선이다.

(그림 5-7)의 (b)는 다른 신호선 접지와 공통으로 연결되었을 때를 나타내 주고 있는데 이때 중요한 것은 다른 설비나 회로에서 발생된 잡음전류  $I_n$ 이 접지선의 고유저항(임피던스)에 의해  $V_n$ 이라는 잡음전압 강하(Common Impedance 결합)가 생긴다는 것이다. 따라서  $I_n$  성분이 회로측에 유입되지 않도록 할 필요가 있다.

(그림 5-7)의 (c)는 회로를 기능별로 분리하여 공통 임피던스에 의한 결합을 어느 정도 낮출 수 있도록 한 구조이며, d는 디지털 회로에서 1점 접지를 실시한 예로서 전원선측에서 관통형 컨덴서를 사용하여 용량성 접지를 한 경우로 신호선과 채환선이 함체와 Floating되어 있다.



(c) 구역으로 분리하여 1점접지를 한 예



(d) 디지털 회로에서 1점 접지의 일례

[그림 5-7] 1점접지의 예

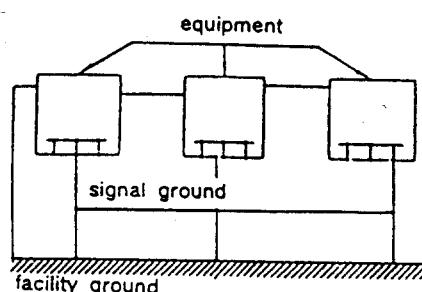
이때 반드시 차폐용 편조선은 1측만 접지시켜야 한다.

1점 접지는 주로 저주파 대역(일반 PC류까지로 대략 200MHz 미만)에서 이용된다.

#### (8) 다점 접지

1점 접지에 대해 다점접지는 주로 고주파 기기에서 실시하는 방법으로 주로 신호 접지망에 많이 이용되며, 이는 접지망을 구조적으로 단순하게 해주는 장점이 있는 반면 60Hz를 포함하여 저주파 노이즈가 신호회로에 전도적으로 유입되어 저주파 회로에서는 많은 루프를 갖게 되어 사용할 수 없는 결점이 있다. 뿐만 아니라 방사성 노이즈를 많이 발생시키며 외부 전자파에 대해서도 아주 민감한 결점을 갖고 있다.

이와 같은 결점에도 불구하고 회로의 구조와 부품의 취부상 어쩔 수 없이 사용하는 경우가 있는데 이 경우 가능한 접지패턴에서 전위차가 발생되지 않는 위치에서 접지선을 연결할 필요가 있고, 접지도체를 잡음 주파수의 0.1파장 이내가 되도록 연결해 주어야 한다.



(그림 5-8) 다점 접지의 구조

#### 나. 접지선의 길이와 굵기

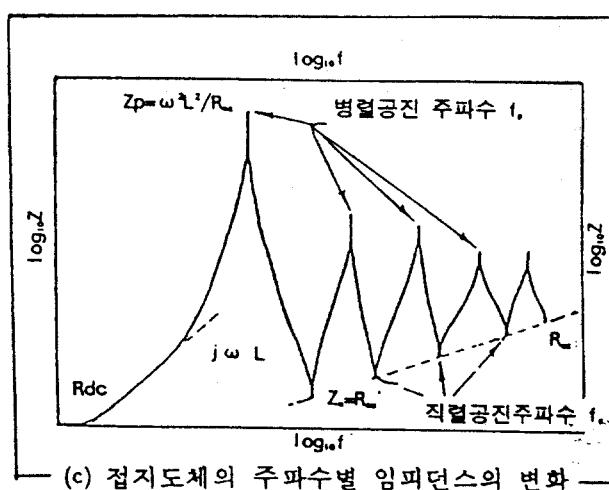
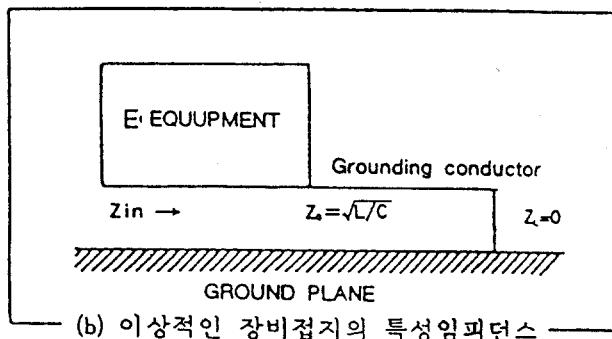
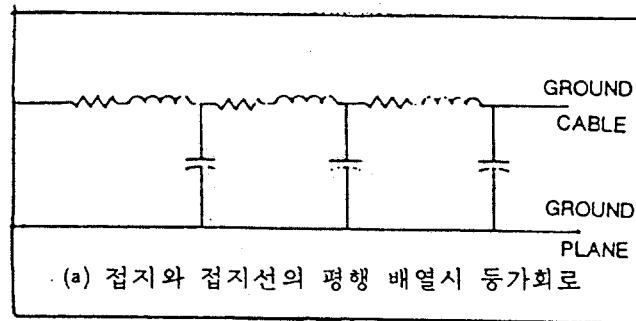
접지선은 일반적으로 여러 가닥의 동선을 사용하는데, 이에 대한 규정은 장비의 종류와 크기 등 여러 가지에 의해 결정되겠으나 규정은 참고만 하고 가능한 굵은선, 가능한 얇은선(0.1파장-0.2파장) 등이 필수적으로 고려되어야 한다.

접지선의 길이와 잡음주파수가 어떤 관계를 갖고 있는가를 인지하는 것은 상당히 중요하다. 접지선을 포설했을 때 이를 분포회로정수로 해석하는 것이 일반적인 접근방식이다.

(그림 5-9)에서 보는 바와 같이 접지선을 포설하면 접지선은 자체 인피던스를 가지며 건물의 철구조물과 용량을 갖게 되는데 이상적인 접지체계를 갖기 위해서는 접지선의 특성임피던스  $Z_0 = \sqrt{L/C}$ 가 되었을 때 이상적이다. (그림 5-9)의 c는 접

지도체의 주파수별 임피던스 변화를 나타내주고 있는데 접지선이 길 때는 많은 직. 병렬 공진특성을 갖게 되어 어떤 주파수는 접지선을 통해 대지측으로 바이패스 되는데 다른 어떤 주파수에서는 임피던스가 커질 수 있다.

(그림 5-9)의 (a)는 접지선을 분포회로로 본 등가회로이고, (b)는 임피던스 측면에서 본 이상적인 장비의 접지방법이며, (c)는 접지도체의 임피던스와 주파수간의 상관관계를 나타내 주고 있다.



(그림 5-9) 접지선의 임피던스와 주파수 영향

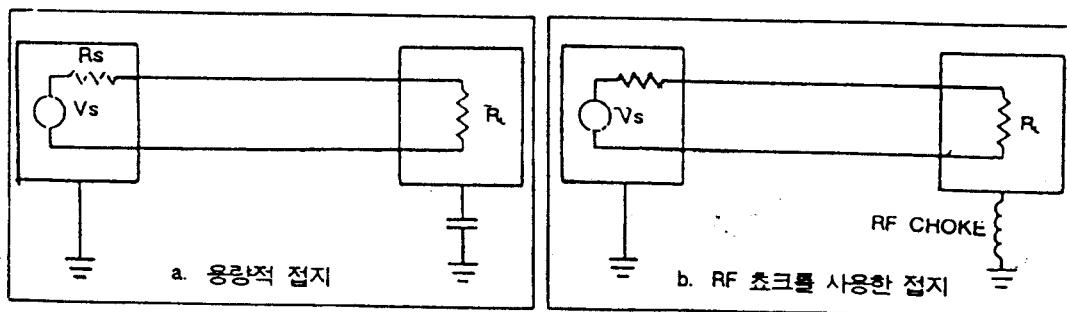
그림 (c)에서 최초 공진 주파수를 나타나는  $L$ 은 토탈 인덕턴스이고  $C$ 는 접지선과 대지 또는 건물의 금속체와의 용량성분이며,  $R$ 은 접지선의 직류저항값으로 저주파의 경우 주파수에 대해 독립적(무시 할 수 있는 양)이라고 할 수 있다. 일반적으로 접지선은 주로 동선을 사용하므로 도전성이 높아  $R \ll \omega L$ 이므로 수백 Hz 이상에서나 정확한 값을 예측할 수 있다.

### (1) 저주파 기기에서 접지방법

- ① 기구적인 접지, 안전선 접지, 전기장치의 접지선들을 각각 분리한 구조가 이상적이다.
- ② 전원 케이블과 신호전류의 케이블을 1차측에서 직접 묶지 않아야 한다.
- ③ 저주파 접지망은 설비의 접지와 1점에서 연결되어야 한다.
- ④ 저주파 접지선 역시 접지선의 길이가 짧을수록 유리하다.
- ⑤ 접지망의 접지선은 1차 전원도체와 길게 평행으로 배선되어서는 안된다.

### (2) 고주파 기기에서 접지방법

- ① 고주파 기기에서는 주로 함체가 기준 신호전위로 사용되는 경우가 많으므로 함체간에 도전성이 좋고 넓으며 접촉저항이 최소화되도록 연결되어야 한다.
- ② 다점 접지가 1점접지에 비해 고주파 회로(대략 500MHz 이상)에서 대체적으로 유리하다.
- ③ 고주파 기기의 설치위치는 높은 층보다 낮은 층이 접지면에서 유리하나 안테나 등이 있는 경우 케이블의 손실이 중요하므로 불가불 상층에 설치된다.  
단, 이때 건물의 자체 접지를 사용하면, 낮은 층의 모든 기기 전자기적으로 영향을 주어 불리하다.



[그림 5-10] 주파수 대역별 선택적 접지방식

## 다. 전자회로(PCB상)에서 접지선 처리

미시적인 관점에서 볼 때 전자회로의 접지선 처리 방법이 가장 중요한 위치를 차지하고 있다.

공통선 임피던스에 의한 노이즈 전달량은 루프의 크기, 루프의 수와 깊은 함수관계를 갖는데 이유는 간단하다. 일반적으로 상용전원을 기기에 공급하면 회로에서 기기가 동작하면서 많은 고주파 성분의 에너지를 만들어 낸다. 만들어진 에너지는 패턴이나 외부 도체에 연결되면 안테나로서 동작하여 외부에 에너지를 방사하게 되는 것이며, 반대로 외부에서 전자파를 인가할 때도 해당 주파수의 에너지가 용이하게 수신되어 기기의 오동작을 일으킨다.

따라서 다음 사항을 참조하여 회로상에서 접지처리를 해야 오동작없이 기기를 동작시킬 수 있다.

- ① 4층 이상 다층기판을 사용한다.
- ② 전원선용 필터는 사용대역이 대략 500kHz이상 20MHz이상에서 감쇠량을 가지므로 해당 주파수 이하나 이상의 전자파 에너지에 대해서는 별도의 대책 부품을 선택하여 취부해야 한다.
- ③ 신호선 필터의 경우 3단자 필터나 관통형 컨덴서와 페라이트 비드를 복합적으로 삽입하여 보호하는 측 회로의 임피던스를 높이고 접지측 임피던스를 낮추는 구조로 회로를 설계하며, C. L의 용량은 통신속도에 맞게 선택할 필요가 있다. 이때 컨덴서의 1측은 함체접지에 연결되도록 하는 것이 중요하다.
- ④ 외부에 인출되는 각종 센서용 배선은 Twist를 원칙으로 하며, 검출용 OP-Amp의 하단에 접지면을 충분하게 해주고 PCB의 입력측에 부품을 배치한다.
- ⑤ 센서선은 검출단에서 반드시 Floating시켜야 하며, 사용되는 OP-Amp는 단일 전원 방식보다 양전원 방식이 CM Mode Noise를 효과적으로 감쇠시킬 수 있다.
- ⑥ 센서용 배선은 반드시 평형회로용(Balancing) 배선을 사용해야 한다.
- ⑦ 신호선과 전원선은 반드시 분리하여 포선하고, 여러 종류의 배선이 있는 경우 성질이 같은 배선끼리 포선함을 원칙으로 한다.
- ⑧ 부품의 Layout은 결합이 일어나지 않도록 순서대로 배선한다.
- ⑨ 장비의 구입시 전자파 내성시험과 EMI시험을 거친 제품을 구입한다.
- ⑩ 가능한 분리소자를 많이 사용하는 것이 좋은데, 신호선의 경우 광소자를 전원선의 경우 Isolation Trans를 사용한다.

- ⑪ 접지패턴과 Vcc선은 가능한 한 넓게 한다.
  - ⑫ 사용하지 않는 Edge Pin은 접지면으로 활용하여 PCB상에서 바이패스되는 노이즈 성분이 용이하게 접지층으로 통과되도록 한다.
  - ⑬ 전원 평활회로에 사용하는 코일은 Drum Type보다 Troidal Type을 사용하는 것이 전자파의 유도에 적합하다. (누설자속에 의한 유도 및 방사량 증가)
  - ⑭ 바이패스용 리드가 있는 컨덴서의 용량은 높은 주파수에서는 104보다 102 또는 103이 공진점이 높아 유리하다.
  - ⑮ Vcc와 DC Common(−선)은 가능한 PCB의 상하에 넓은 면적으로 배열 하며 루프와 숫자가 작게 되도록 PCB Pattern을 설계한다.
  - ⑯ PCB Artwork은 CAD로 하고 이후 수작업으로 마무리 또는 확인한다.
- 접지 루프를 줄이는 방법은 다음과 같다.
- 1점접지, CM Coil삽입, 2전원 방식, 광결합기 사용, 주파수 선택적인 접지

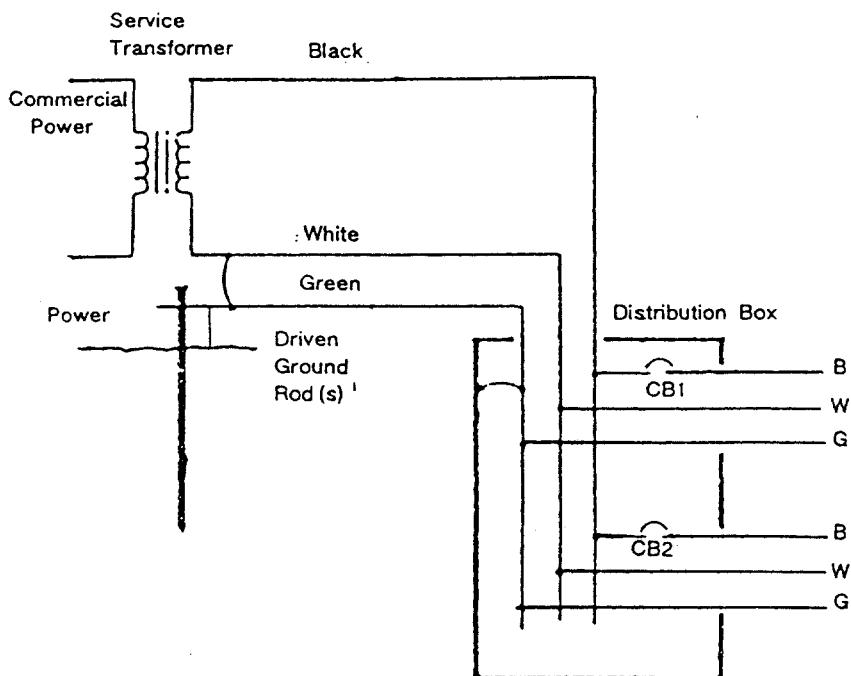
#### 라. 접지체계

##### (1) 간단한 설비의 접지 및 전원선 처리

정밀장비를 많이 사용하는 단독 주택이나 작은 규모의 공장 등은 [그림 5-11]과 같은 구조로 접지 및 전원선을 처리한다.

지하에 접지봉이나 접지판을 가능한 깊고 대지와의 면적을 넓게 하여 매설하고, 220V인 경우는 1 : 1 절연트랜스를 사용하여 2차측을 접지층과 연결한다. 일반적인 가정의 경우 한전선을 곧바로 가정에서 접지 없이 사용하는데 가정내에서 독립적으로 전기가 사용되는 경우는 별다른 문제가 없다.

그러나 정밀계측기를 사용하는 경우 또는 다른 집과 통신망(LAN 등)을 이용하는 경우(전화선은 1 : 1 트랜스가 입력단에 삽입되므로 관계없음)는 전원선의 2차측 1가닥이 반드시 접지선과 연결되어야 한다. 만일 Neu-Gnd간에 전위차가 나면 정밀계측기가 동작을 하지 않거나 Pre-Amp 등이 손상될 확률이 높다. 공장의 경우 대부분 강하 Trans를 사용하므로 이 때는 반드시 2차측 접지를 해 주어야 프로세서 제어기기가 오동작하지 않는다.



(그림 5-11) 간단한 공장이나 단독주택의 접지선 계통

## (2) 중형 및 대형 빌딩의 접지계통

중형 및 대형 건물의 터파기 후 접지선들을 그림과 같이 망형으로 배열하고 각각의 결점은 반드시 용접하고 구석과 중간중간에 다시 접지봉을 박아 대지와의 면적을 높인다.

외곽에 다시 접지선을 깔아 낙뢰접지로 사용하고 내부는 장비의 신호접지로 사용하는 방식이다. 이 방식 역시 2차측에 접지를 하여 Neu-Gnd간에 전위차가 1~2V이하로 한다.

이때 중요한 것은 별도의 실드룸이 있을 때는 건물측 접지(전원선 접지)를 사용할 수 없다.

왜냐하면 실드룸에 사용된 전원용 필터의 차단 주파수를 낮추기 위해 Cy의 컨덴서 용량을 높게 하여 누설전류가 많이 흐르게 되므로 누전 차단기가 동작하게 된다. 실드룸이 아니고 일반 전기 전자 기기에서도 때로 누전차단기가 떨어지는 경우에는 기기의 전원필터를 확인할 필요가 있다.

공장내 기기의 신설이나 증설시 새로운 접지를 요구하게 되는데 이때를 대비하여 건물의 4개소 이상 Clean(or Quiet Ground) 접지선을 인출시켜 이를 사용하는 것이 가장 이상적이다.

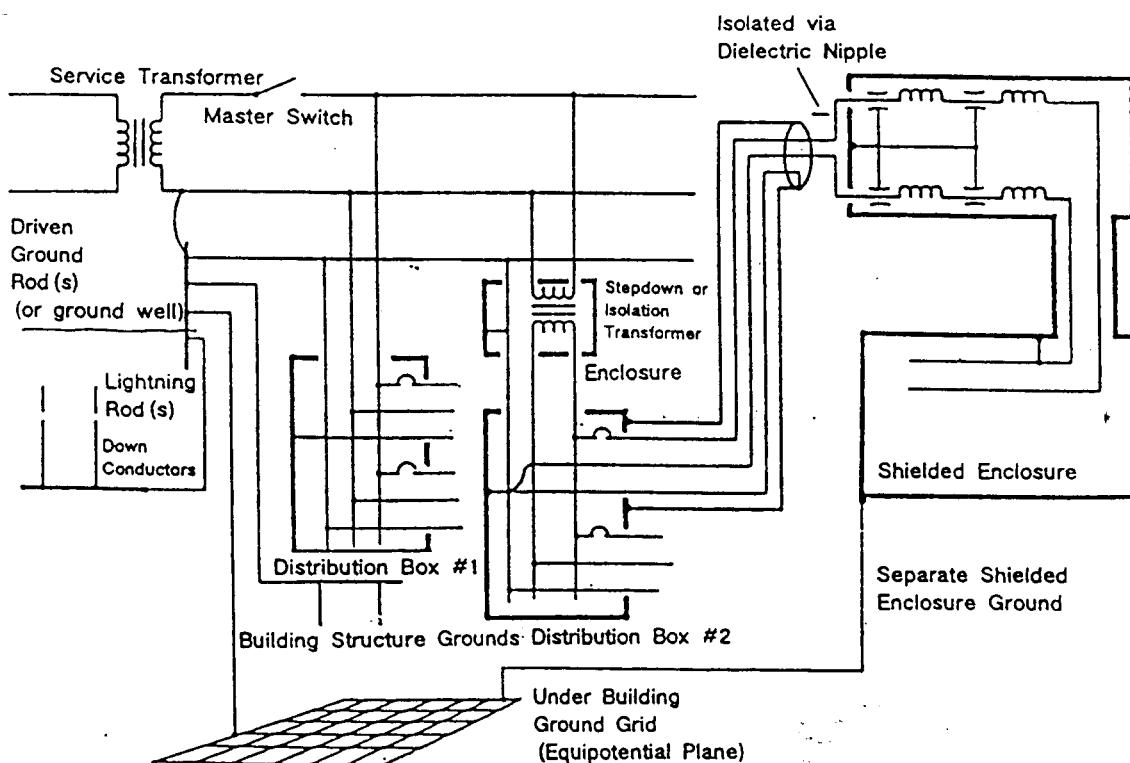
만일 별도의 접지를 매설하는 경우 기존 설비용 접지와 전위차가 나게 되고 전원 용 필터의 1측이 접지되어 필터로서의 기능을 수행하지 못하게 된다.

따라서 별도의 접지는 반드시 기존 설비용 접지와 지하로 용접하여 연결해 주어야 한다.

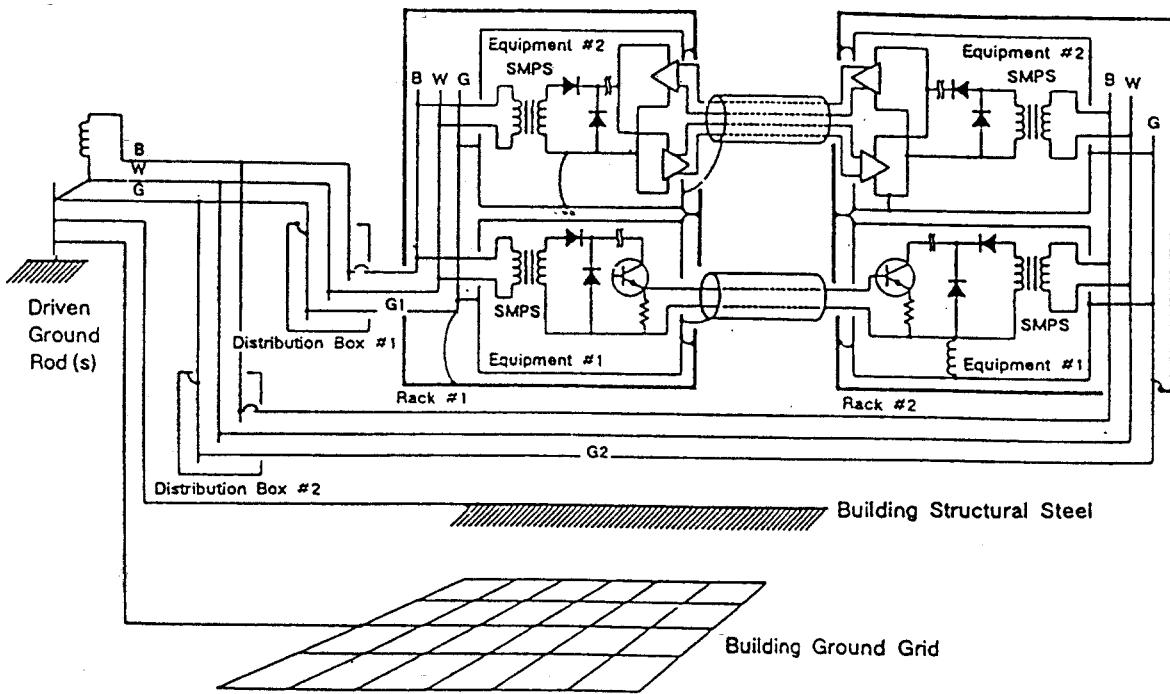
### (3) 통신망이 있는 건물의 접지체계

건물내 1개의 설비가 독립적으로 기능을 수행할 때의 접지는 앞서 설명한 바와 같이 단순한 편이다. 그러나 건물이 다르고 건물간에 통신망이 접속되는 경우 고려해야 할 요소가 많다.

통신선의 보호를 위해 실드를 할 때 반드시 1측만 접지를 해야한다. 만일 양쪽 모두를 함체에 접속하면 매우 큰 접지루프를 만들어 저대역의 많은 전자파를 신호 선에 유도시켜 오동작을 일으킨다. 만일 신호선을 통해 유입된 전자파에 의해 통신에 장애를 일으키면 관통형 컨덴서를 이용하여 함체측으로 접지를 시키면 안정된 동작이 확보된다.



(그림 5-12) 중형, 대형 건물의 접지체계

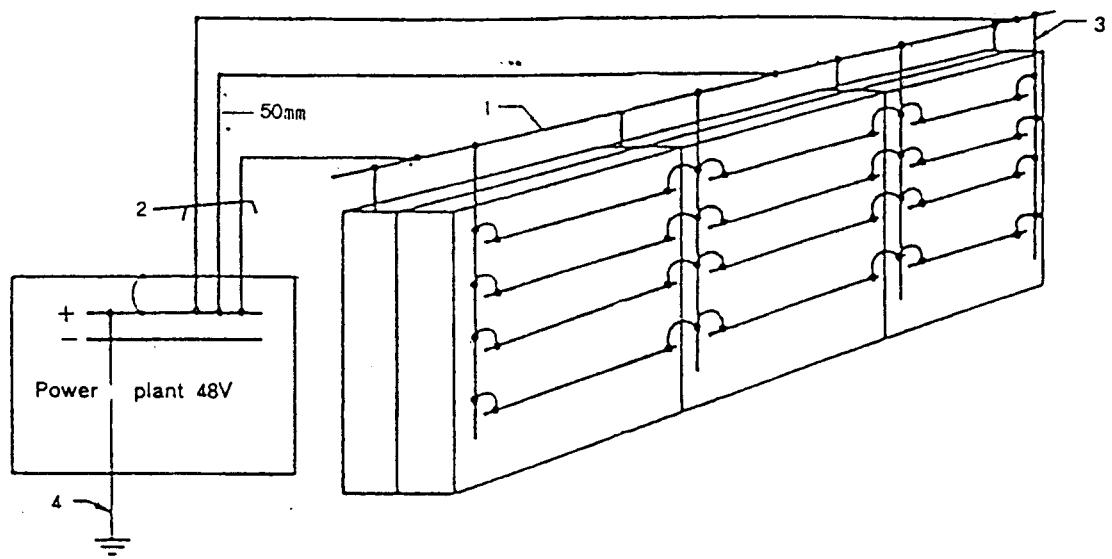


(그림 5-13) 통신망이 있는 건물의 접지체계

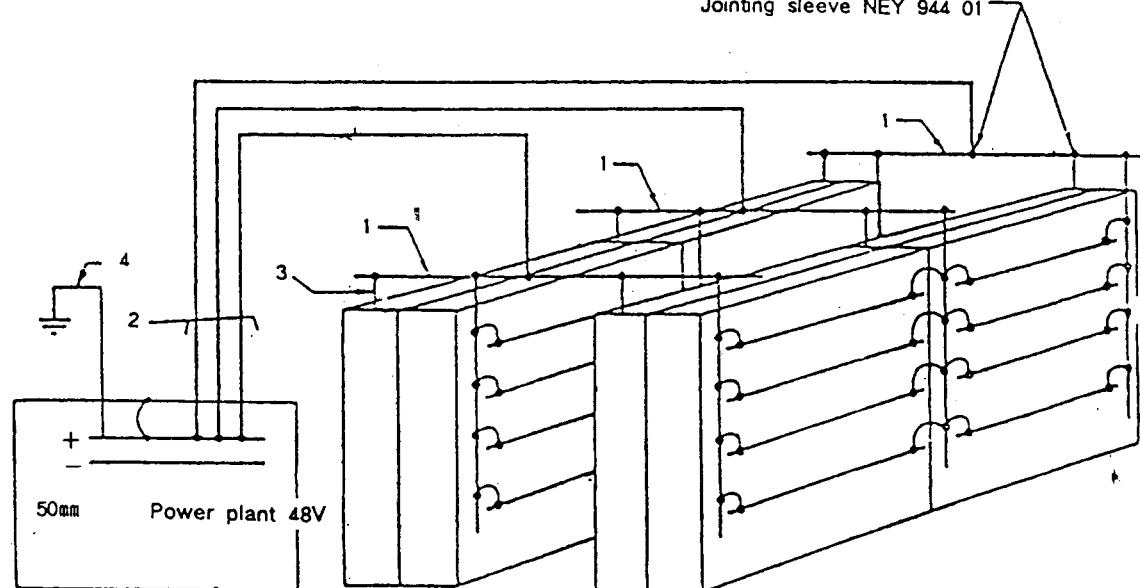
#### (4) 대형 설비의 낙뢰방지를 위한 접지체계

교환기와 같이 1개의 건물에 매우 복잡한 설비가 복합적으로 있는 경우에 낙뢰에 의한 피해를 최소화하기 위해서는 시스템 간의 등전위 유지가 가장 중요한 요소이다.

따라서 셀프간, 랙간, 열의 장비간에 별도의 접지망을 장비 상단에 설치하여 많은 낙뢰전류가 흘러 들어오는 가입자 회로(외부 가공선 등)측 랙과 다른 랙 간의 등전위 유지가 낙뢰 방지를 위해 필수적이다.



Jointing sleeve NEY 944 01



1 = Bare copper wire TBK 101 04 (50mm)

2 = 3.TFK 100 508/08 (25mm)

3 = Earthing cable 105 3, 522/1 or 2

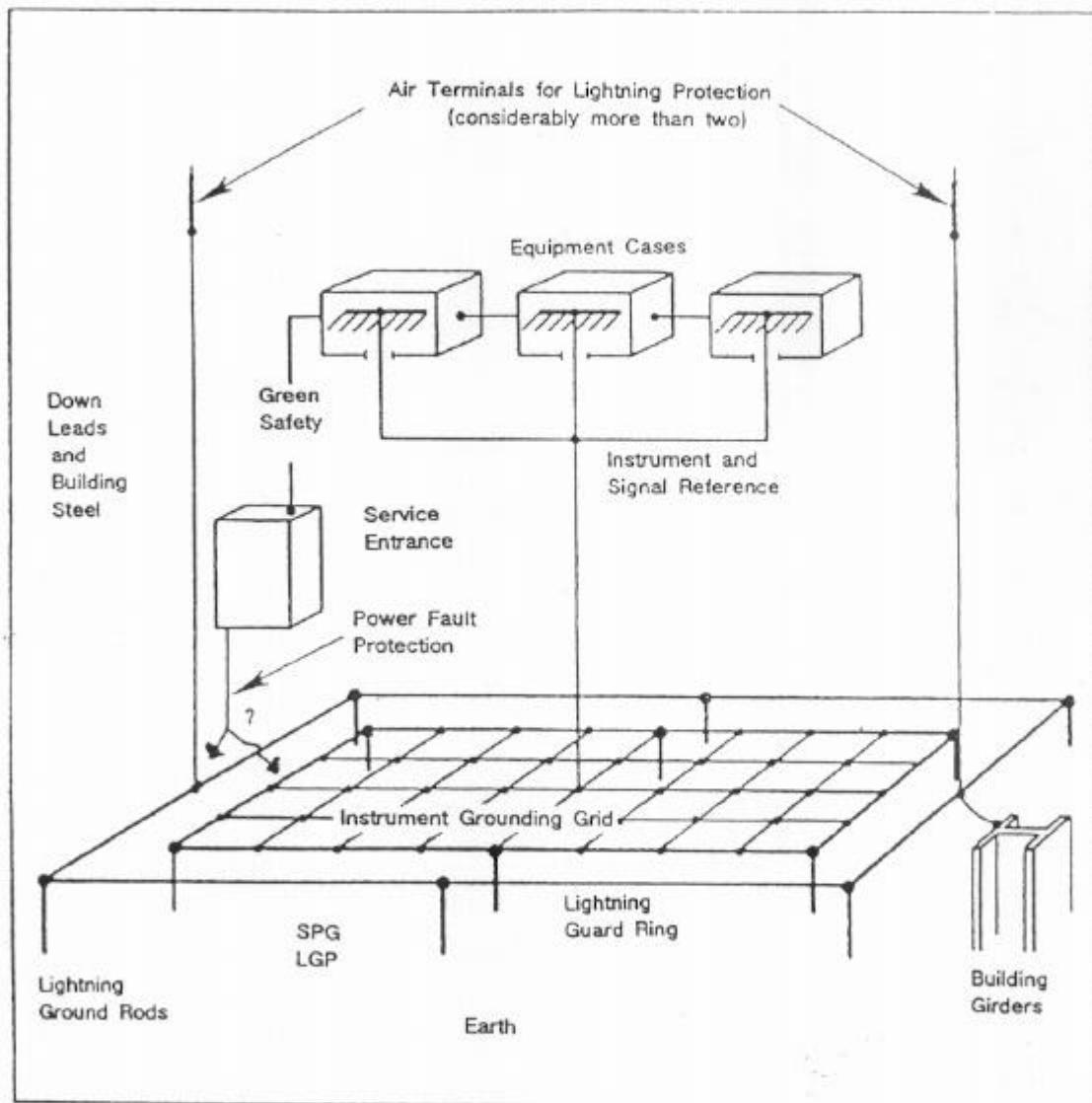
4 = To earth collection bar 70mm

(그림 5-14) 시분할 교환기(AXE10)의 랙과 셀프의 접지체계(낙뢰방지)

##### (5) 2종의 접지선을 사용하는 경우의 접지계통

2종 이상의 접지선을 사용하는 방법으로 다음 그림과 같은 예를 들 수 있다.

이 경우 접지의 용도를 달리하여 사용할 수 있는데 많은 장비가 복합적으로 신증설되는 경우 혼돈을 일으키기 쉽다. 따라서 이 방법은 접지를 체계적으로 관리 할 수 있는 환경이 아니면 적용이 어렵고 경비가 많이 들며, 통신망을 구성하는 경우 대지궤환전류에 의한 오동작 우려가 높다.



(그림 5-15) 2종의 접지를 사용한 접지 체계

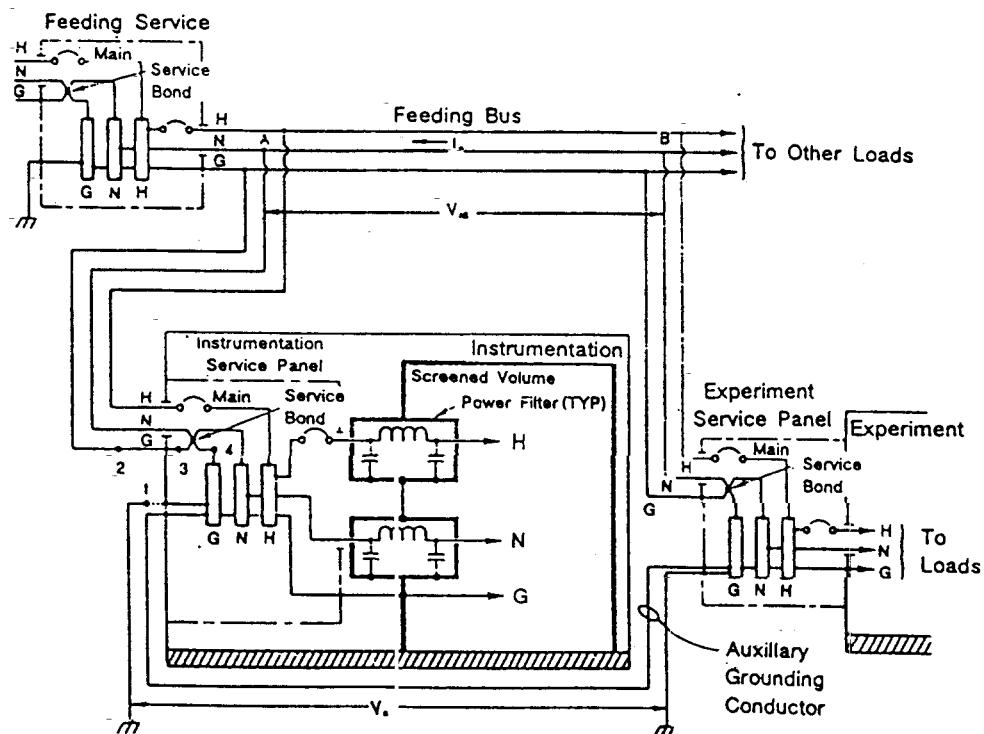
### 3 접지체계의 역사적 변천

#### 가. 접지체계의 역사성

접지 방법은 과거에는 주로 인체의 안전을 위한 접지와 낙뢰방지를 위한 목적이 강조되어 설계되고 코드화되어 왔다. 최근에 들어 5V제어계통인 프로세서 제어가 주류를 이루면서 자동화 기기의 오동작이 빈번해지자 이를 효과적으로 방지하고자 하는 방향으로 접지체계가 발전하게 되었다. 따라서 기존의 국제규격이나 국내규격으로 정해진 접지체계가 달라지게 되었는데 규정 등이 아직 수정되지 않아 과거의 방법과 다소 차이가 나서 혼동을 일으키기도 한다.

일반적으로 지금까지 설치된 컴퓨터나 프로세서 제어설비의 접지체계는 다음과 같이 되어 있다.

이 방법은 전자기적으로 보아 가장 잘못된 방식인데 공교롭게도 실제 현장에서는 많이 사용되고 있는 접지체계이다. 이 접지체계는 인체안전을 목적으로 설계된 방법으로 장비의 오동작 측면에서 보면 아주 잘못된 방법이다.

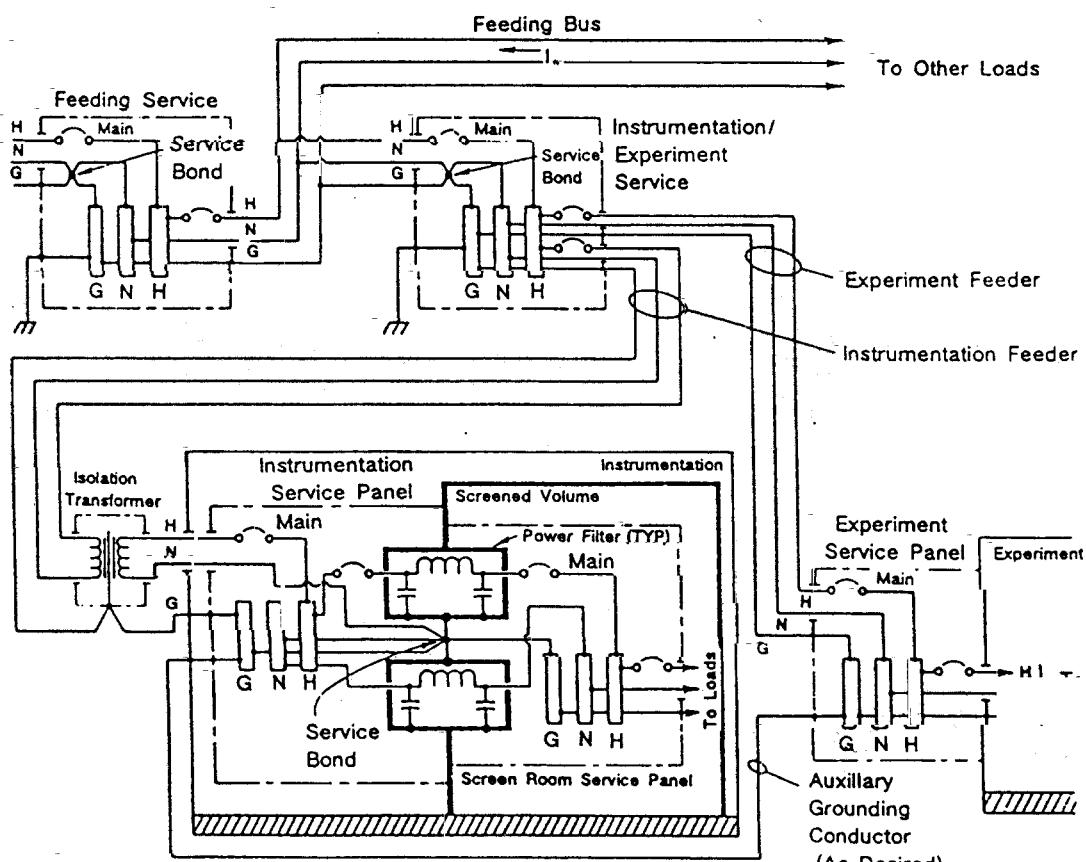


(그림 5-16) 고전적인 접지체계(인체 안전을 목적으로 한 접지체계)

이같은 접지체계를 갖춘 경우 전자기적으로 크게 3가지의 문제점을 갖고 있다.

첫째로 별도로 매설한 장비용 접지와 건물접지간에 전위차  $V_e$ 가 존재하게 되어 잡음전류가 흐르게 되고 이 루프에 의해 신호선 등에 결합이 일어나 알 수 없는 원인에 의한 오동작을 일으킬 수 있다. 두번째로 중선선에 연결점A와 B간의 전위차  $V_{AB}$ 가 발생하여 등전위를 유지시키기 위해서는 보조접지 도체의 크기를 극도로 크게 해야 한다. 일례로 급전되는 전류가 200A일 때  $V_{AB}=500\text{mA}$ 를 대략 1mV로 낮추려면 전선의 굵기를 254mm로 크게 해야 한다. 100mV를 10mV 낮추려 해도 38 mm의 도체가 필요하다. 물론 접지저항을 거의 같게 하면 접지선의 굵기가 유사해진다. 세번째로 실드룸에 부착된 전원필터의 Cy컨덴서에 의한 누설전류가 수십A까지 흐르게 되어 전원선의 평형(Balancing)이 무너져 60Hz상전의 3차하모닉 전류 분이 0이 되지 않아 때로는 기본파 성분보다 클 때가 있고 이는 아주 심각한 문제를 야기할 수 있다.

이와 같은 문제점을 해결하는 방법으로 일반적으로 점1에서 접지를 떼어버리는데 이렇게 하면 국제코드에 어긋나게 된다.



(그림 5-17) 문제점을 제거시킨 Isolation Transformer를 이용한 접지체계

#### 나. Isolation Transformer를 이용한 접지

(그림 5-17)에서 보는 바와 같이 1:1 절연트랜스 즉, 전자파 차단 트랜스를 이용하여 접지루프를 제거하여 접지를 하는 방법으로 컴퓨터 제조업체에서 많이 권하는 방법이다. 별도의 접지가 필요하거나 누설전류가 많은 기기를 대상으로 사용한다. 이는 중량이 무겁고 크며 값비싼 제품을 사용하게 됨에 따른 무리가 있으나 컴퓨터의 오동작과 필요 누전전류에 의한 차단기 동작을 막을 수 있는 장점을 갖고 있다. (그림 5-17)에서 하단의 보조접지선을 땅 속으로 건물접지와 연결하는 것이 (그림 5-16)과 다르다. 일반적으로 Isolation Trans는 2차측에서 중선선과 연결된다.

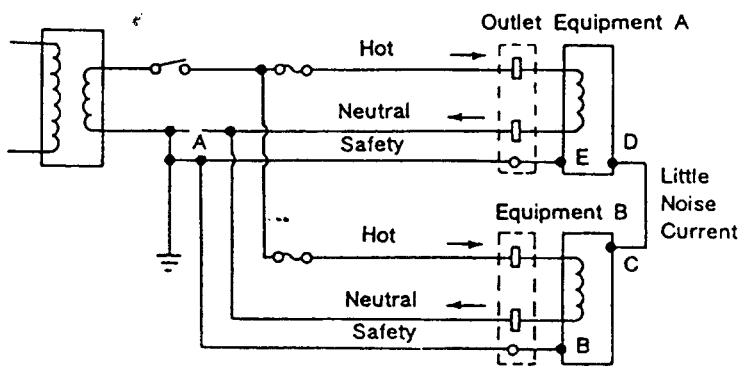
#### 다. 전원/접지 계통에 있어 인지사항과 접지에 의한 장애사례

##### (1) Hot, Net선이 혼재되었을 때 전자기적인 문제

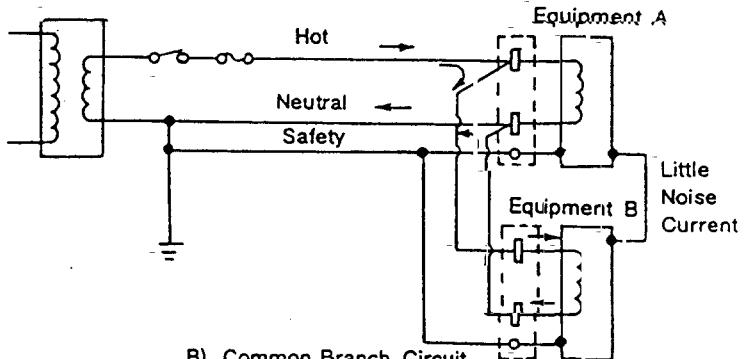
초기에 대형 컴퓨터를 외국으로부터 직접 수입해와 외국인이 설치할 때 전원선의 활선과 중선선 및 설비 접지선이 바뀌면 기겁을 하는 것을 볼 수 있었다.

만일 배선에 있어 활선과 중선선 및 설비접지선이 바뀌게 되면 어떠한 문제점이 있는가를 살펴보자. 물리학적으로 보면 모든 에너지는 높은 곳에서 낮은 곳으로 흐른다. 전기에너지 역시 전위가 높은 곳에서 낮은 곳으로 경로(외함 접지)만 있으면 전류가 흐른다. 다른 측면에서 보아 전류가 흐르는 경로가 있다면 폐루프가 존재한다는 것이 되고 폐루프가 다른 신호선과 평행하거나 근거리에 존재하면 유도적인 전자유도나 용량적인 정전유도가 일어나 기기를 오동작시킬 수 있다. (그림 5-19)의 (a)와 (b)는 노이즈를 최소화시킨 접지 및 전원계통으로 시스템에 공급되는 전원의 활선과 중선선이 바뀌지 않도록 한 구조로 적절한 방법인 반면, (그림 5-19)의 (c)는 활선과 중선선이 바뀐 구조로 다소의 잡음전류가 기기간에 흐른다. (b)와 (c)는 중선선과 접지선이 바뀐 구조로 만일 같은 콘센트를 사용하게 되면 많은 잡음전류가 흘러 오동작을 일으킬 확률이 높다.

결과적으로 전원의 활선과 중선선 그리고 접지선은 콘센트에서 바뀌지 않도록 배선하는 것이 원칙이다. 그러나 접지선이 없고 기기가 독립적으로 동작하는 소형기는 크게 문제되지 않는다.

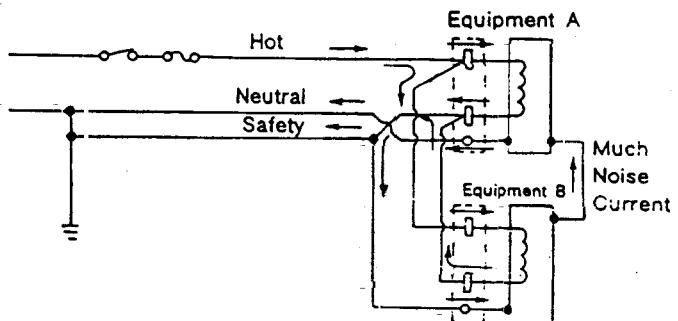


A) Separate Branch Circuit

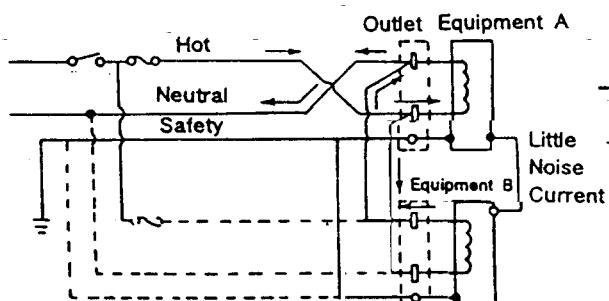


B) Common Branch Circuit

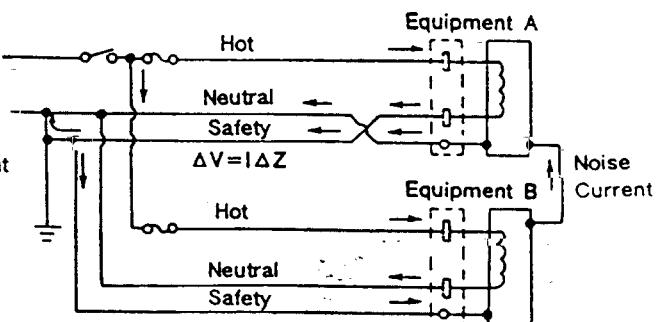
[그림 5-18] 활선과 중성선 그리고 접지선이 바뀌지 않고 정상적으로 배선된 전원



(b) 중성선과 접지선이 바뀐 경우(공통)



(a) 활선과 중성선이 바뀐 경우(공통/분리)



(c) 중성선과 접지선이 바뀐 경우(분리)

[그림 5-19] 활선, 중성선 그리고 접지선이 상호 바뀌어 전자기적으로 문제가 있는 배선

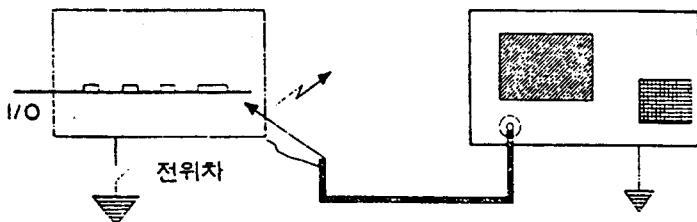
## (2) 접지선 처리 잘못으로 정밀장비가 손상을 입은 사례

- 사례 1. 모 연구소에서 고가의 로직 분석기를 고장낸 사례
- 사례 2. 모 대학에서 네트워크 분석기가 정상적으로 동작하지 않은 사례
- 사례 3. 모 연구소에서 전치 증폭기를 고장낸 사례
- 사례 4. 모 연구소에서 EMI Test Receiver를 고장낸 사례

상기 4가지 사례 모두가 접지가 잘못되어 발생된 예로 정밀계측용 장비를 취급하

= 연구소에서 아주 빈번한 사례로 원인은 모두가 같다.

위 모든 장비는 장비본체가 있고 외부에서 신호를 받아 분석하는 장비로 대부분 아  
= 작은 신호를 초단에 증폭단을 두고 있다. 원인을 보면 측정용 계측기나 신호원의  
기중 하나는 접지가 되고 다른 하나의 기기가 접지가 되어 있지 않아 발생한다.



(그림 5-20) 정밀 계측기가 고장을 일으키는 개념도

윗 그림에서 측정용 계측기는 접지가 되어 0V이고 피측정기(로직회로, 프리앰프,  
스테레오, LISN, SG)가 접지되지 않았을 때 피측정기기의 외함은 대략 110v(220vac  
기기), 50v(110vac 기기) 정도의 전위를 갖는다. 이때 계측기의 컨넥터를 피측정  
기기에 연결하게 되면 전위차에 의해 연결하는 순간에 계측기의 입력에 매우 큰 순  
과전압이 인가되어 계측기의 초단 증폭기 등이 망실된다.

어떤 계측기는 전위차가 나면 아예 처음부터 동작을 하지 않는 경우도 있고, 처음 고  
기를 주고 구입한 장비를 고장내면 이후 쇼크를 받아 아예 사용하지 않는 경우도 있다.

정밀 계측기를 이동하여 새로운 장소에서 사용하게 될 때는 우선 활선과 중선선,  
말선과 접지, 중선선과 접지간에 전압을 측정하고 특히 중선선과 접지간에 접압이  
5v 이상 검출되면 계측기를 사용하지 말고 접지계통을 확인해야 한다.

- 사례 5. 모터 성능 정밀 측정기의 오동작 사례(접지관련)

### ① 현상

모터의 제 성능을 시험하는 여러 랙으로 된 장비가 시험실에서는 잘 동

작하다 현장에 납품한 후 때때로 오동작을 일으켜 시험을 하지 못하여 이에 대한 원인분석과 대책을 의뢰받아 방문해 보니 장비설치 후 오동작을 일으키자 건물접지와 별도의 접지를 잡고 갖가지 방법을 다한 흔적을 발견하였다.

## ② 조치

배전반측에서 모든 접지를 끊고 장비측으로 루프시험을 하니 많은 곳에서 루프가 확인되었다. 1점 접지를 잡기 위해 장비측에서 루프개소를 어렵게 찾아 제거하니 장비가 어느 정도 안정되었다.

확실한 동작확보를 위해 컴퓨터간의 통신선에 전자파 대책을 보완하고 입출력과 전력선에 대한 대책을 수립하여 안정된 동작을 하였다.

## 제 6. 전력감시장치(Scada)의 오동작 사례(접지관련)

### ① 현상

모 대기업에서 제작한 입출단이 700점이 넘는 대형 전력감시장치가 설치 후 4년동안 1주일에 1회이상 오동작이 발생하였다. 해당 지역을 방문하여 보니 154kV 변전소내에 전력감시장치가 설치되고 여러 공장에 각각의 154kV변전소 및 전력을 종합적으로 감시하는 장비였다.

### ② 조치

기본적인 시험과 정밀 측정을 거쳐 1, 2, 3단계에 걸쳐 1개월 동안 전자기적인 대책을 완벽히 하여 상태는 많이 좋아졌으나, 1달 또는 2주에 종종 오동작을 하였다. 평소에는 오동작을 하지 않다 변전소내 무효전력 보상용 컨덴서 뱅크를 단속하면 오동작을 한다는 것이었다.

컨덴서 뱅크는 외부에 변압기와 함께 있는데 내부의 프로세서 제어기기가 오동작을 하므로 해당계통을 정밀점검하였으나 한동안 원인을 찾지 못했다. 마지막으로 감시장치에서 외부로 인출되는 700여개의 I/O를 하나씩 Line to Gnd를 측정해가니 690여번째 배선이 접지와 단락된 사실을 알아냈다. 회로를 추적하여 해당 랙의 문을 여니 센서의 접속점의 절연재가 뚫려 함체와 불완전 접지되는 사실을 알아냈다. 해당 부위를 조치하고 나니 지금까지 4년여 동안 한번도 오동작을 하지 않고 잘 동작되고 있다.

## 제 7. 한전 변전소의 제어용 단말 PC의 오동작

### ① 상태

모 한전 변전소내 제어용 컴퓨터가 때때로 오동작을 일으키고 있었다.

## ② 조치

응급조치로 제어용 단말 PC의 접지선을 Open시켜 정상적인 동작을 확보 할 수 있었다.

여기서 단말 PC의 접지선을 Open 시킨다는 것은 접지루프를 제거시킨다는 것을 의미하며 이는 해당 PC의 외함이 Floating되므로 함체에 손을 대면 약간씩 쇼크를 받아 국제 코드에 맞지 않겠으나 때로는 장비의 오동작을 방지하기 위한 임시조치로 이 방법을 취한다.

응급조치 이후 정밀 조사를 하여 단말기에서 접지를 사용하도록 조치하였다.

### 사례 8. 선박 레벨 측정장치의 오동작 사례

(접지계통 및 순시과전압 소자선택의 잘못)

#### ① 상태

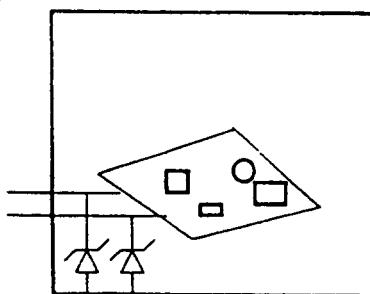
일본 유명회사의 선박 레벨 측정장비가 당 시험소에 전자파 내성시험 의뢰가 들어왔다.

측정시료를 전자파 무향설 설치하고 전자파 방사내성을 시험하기 위해 외부에서 Amp를 켜기만 하면 오동작을 일으켰다.

#### ② 조치

상당한 시행오차를 거쳐 접지계통을 충분하게 검토하여 보니 아날로그 메타의 눈금이 한 쪽에는 이상이 없었으나 리드를 달리하여 측정하니 접지측에 단락이 검출되었다.

도통의 방향성과 PCB를 하나씩 제거해 보면서 확인한 결과 신호선측에 삽입된 순시과전압 소자로 대용량의 제너 다이오드를 Line to Safty Ground (함체)간에 역방향으로 삽입한 사실을 발견하였다.



[그림 5-21] 순시과전압 보호소자의 삽입 잘못에 의한 오동작

순시과전압소자의 경우 사용위치에 따라 선택해야 한다. 이와 같이 단방향 소자를 신호선이나 전원선의 입력단에 Line to Ground삽입하면 비록 역방향으로 삽입되었다고 하나 잘못된 방법이다.

단방향소자의 경우 양극성 임펄스에 대한 크램핑 효과가 있으나 부극성 임펄스에는 동작되지 않으며, 또한 접지측으로부터 유입되는 모든 잡음전류가 신호선측에 곧바로 유입된다.

따라서 이 경우 양방향 소자, 바리스터나 어레스터를 삽입해야 한다. 단, PCB에는 단방향 소자를 사용하여 과전압에 대한 대책을 수립하는 것은 가능하다.

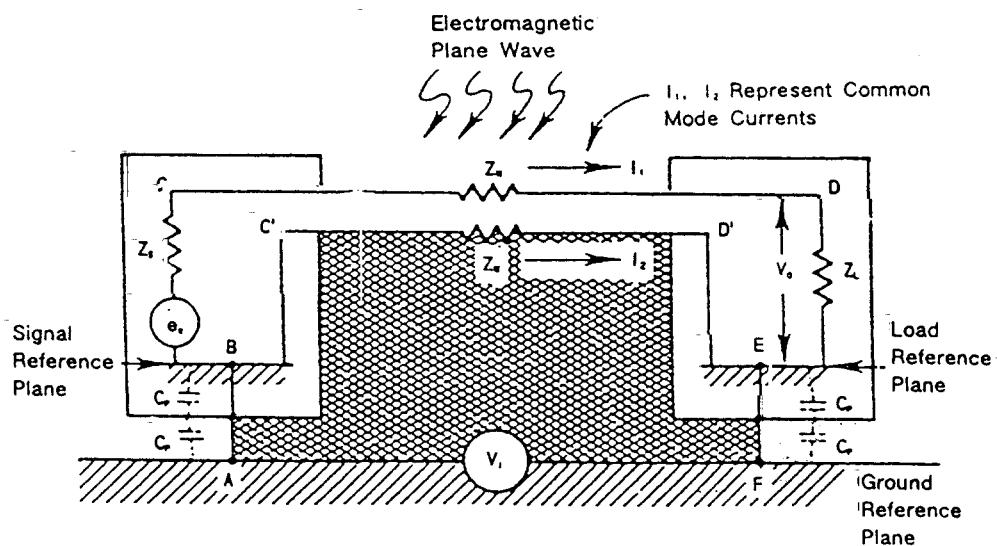
시험시 일본인 기술자가 직접 참관하였는데 여러 번 고맙다는 말을 들었다.

순시과전압 소자의 선택은 응답속도, 전류내량, 정전용량, 누설전류, 사용가능회수 등을 고려하여 선택하고 적절히 교체해 주어야 한다.

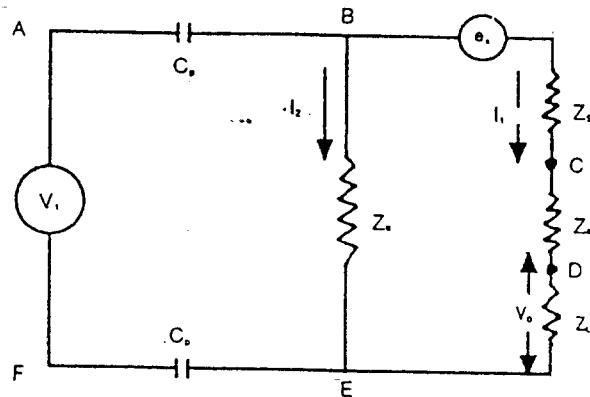
라. 접지루프가 존재하면 왜 전자파에 악한가?

전자파가 공간적으로 접지루프에 결합되는 경로에 대해 알아보자.

다음 그림과 같은 2개의 시스템간에 통신선이 있고 양쪽 모두 함체접지 및 PCB접지를 한 경우 (그림 5-22)와 같이 2개의 경로가 존재하게 된다. 즉, 루프 ABCDEFA와 ABC'D'EFA로 Common Mode 전류가 흐르며 이의 등가회로를 (그림 5-23)과 같이 표시할 수 있다.



(그림 5-22) 폐루프에 평면파가 입사되는 경우



여기서  $C_p$ 는 분포용량이며, 이는 부하측의 기판과 핵체간의 용량을 말한다.

(그림 5-23) (그림 5-22)의 등가회로

등가회로에서  $V_i$ 로 인한 부하양단의 전압  $V_o$ 는 다음 식으로 표현된다.

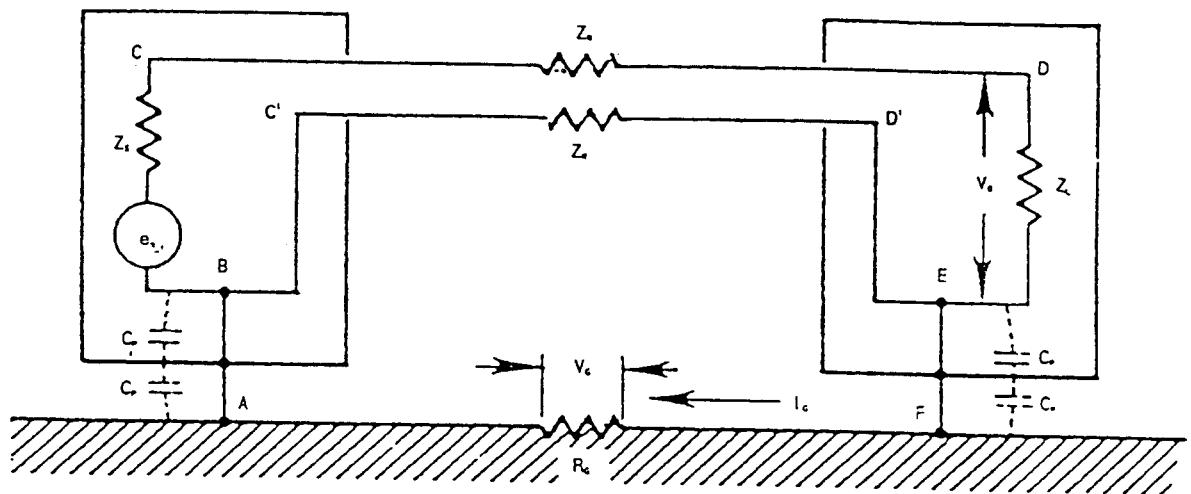
$$V_o = V_i \left[ \frac{Z_L}{Z_s + Z_o + Z_L} \right]$$

만일 등가회로의 E점에서 접지와 Floating시키면  $V_o$ 는 다음식으로 표시된다.

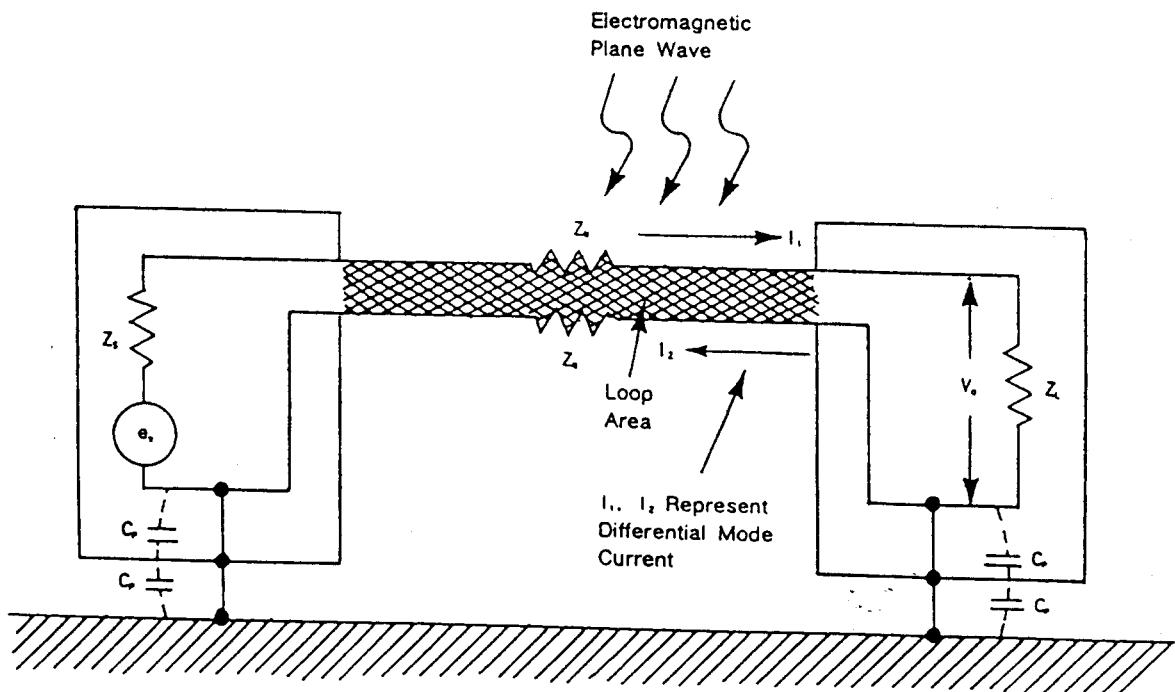
$$V_o = V_i \left[ \frac{Z_o}{Z_{cp}} \cdot \frac{Z_L}{Z_L + Z_o + Z_s} \right]$$

윗 식을 비교하여 플로팅을 하면 ( $Z_o/Z_{cp}$ ) 만큼 나아지게 되며  $Z_o$ 와  $Z_{cp}$ 는 주파가 높아감에 따라 값이 변하여 낮은 주파수(대략 200MHz 이하)인 경우는  $V_o$ 는 낮으며, 그 이상의 주파수에서는 오히려 커지게 되어 다점접지를 하는 것이 유리하다.

(그림 5-23)의 등가회로에서 유도전압은 등가적으로  $V_o$ 는 루프의 면적과 외부 전자파 세기에 의해 정해지며  $Z_o$ 는 배선의 임피던스로 소스 임피던스  $Z_s$ , 부하 임피던스  $Z_L$ 보다 작은 값이며 분포용량의 임피던스  $Z_{cp}$ 는 낮은 주파수에서 크다. 반면에 높은 주파수에서는 급격히 줄어든다.



(그림 5-24) 공통선 접지저항에 의한 결합

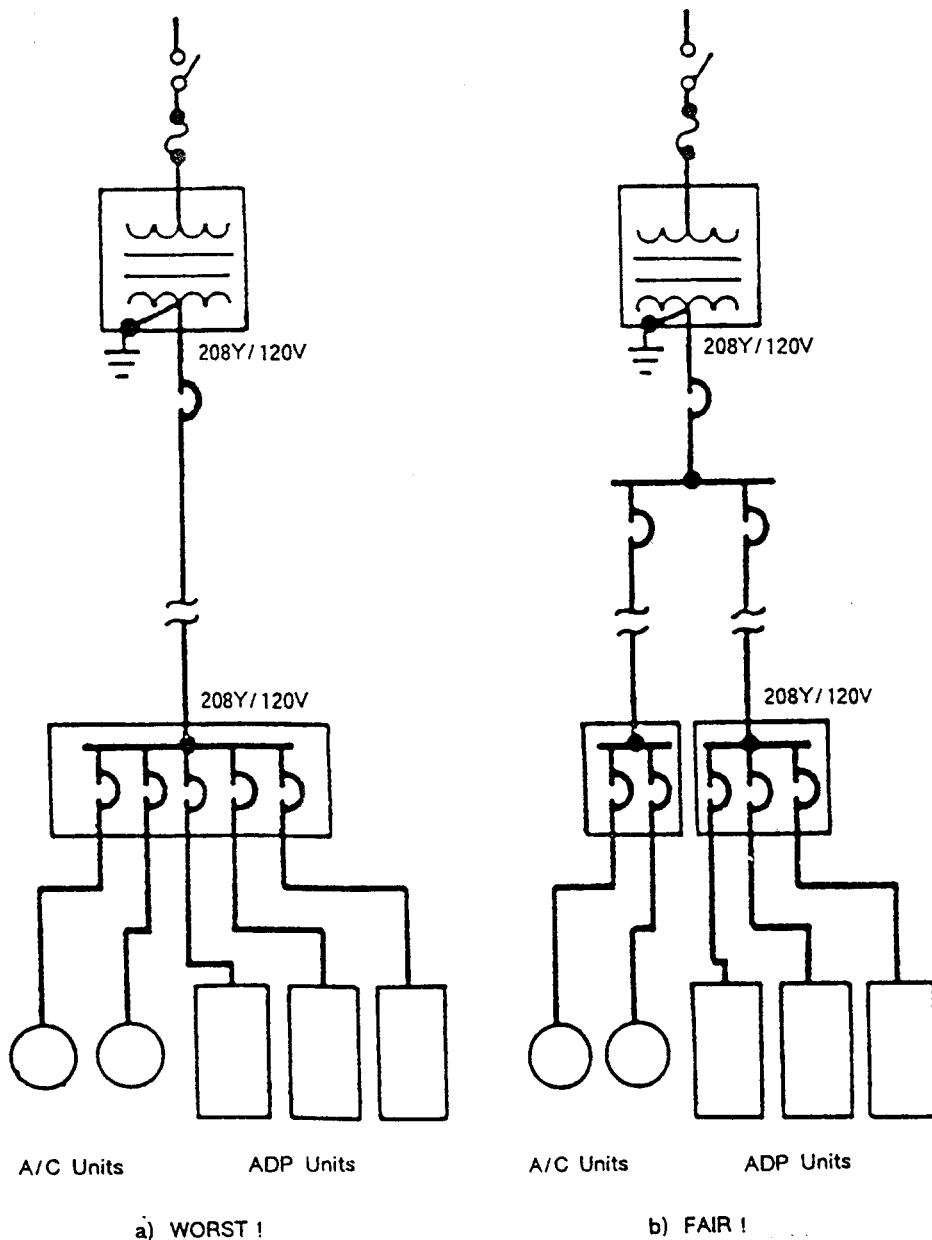


(그림 5-25) 외부 전자계에 의한 DM결합

## 4 IBM에서 권고하는 컴퓨터의 접지체계

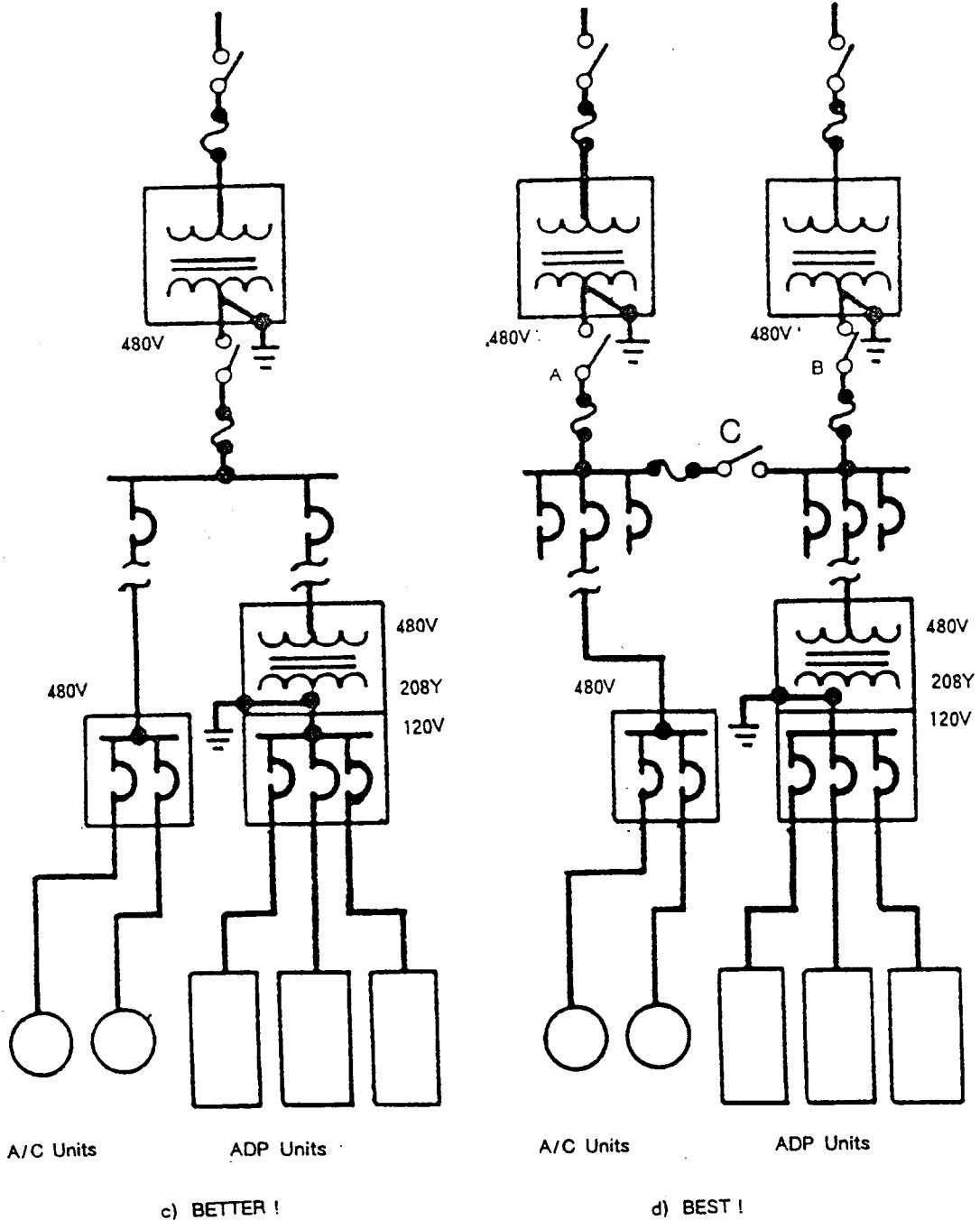
### a). Computer Grounding System

(1) 전원에서 ADP 설비까지(잘못된 예)



여기서 AC Unit라 함은 모터가 내장된 전기제품, 순시과전압이 발생되는 장비, 순간적으로 전압강하가 일어나는 장비류를 말하며, 대형 모터 기동시 발생하는 High Inrush Voltage Drop이 컴퓨터에 영향을 줄 수 있는 장비를 말한다.

(2) 권장하는 컴퓨터 전원계통

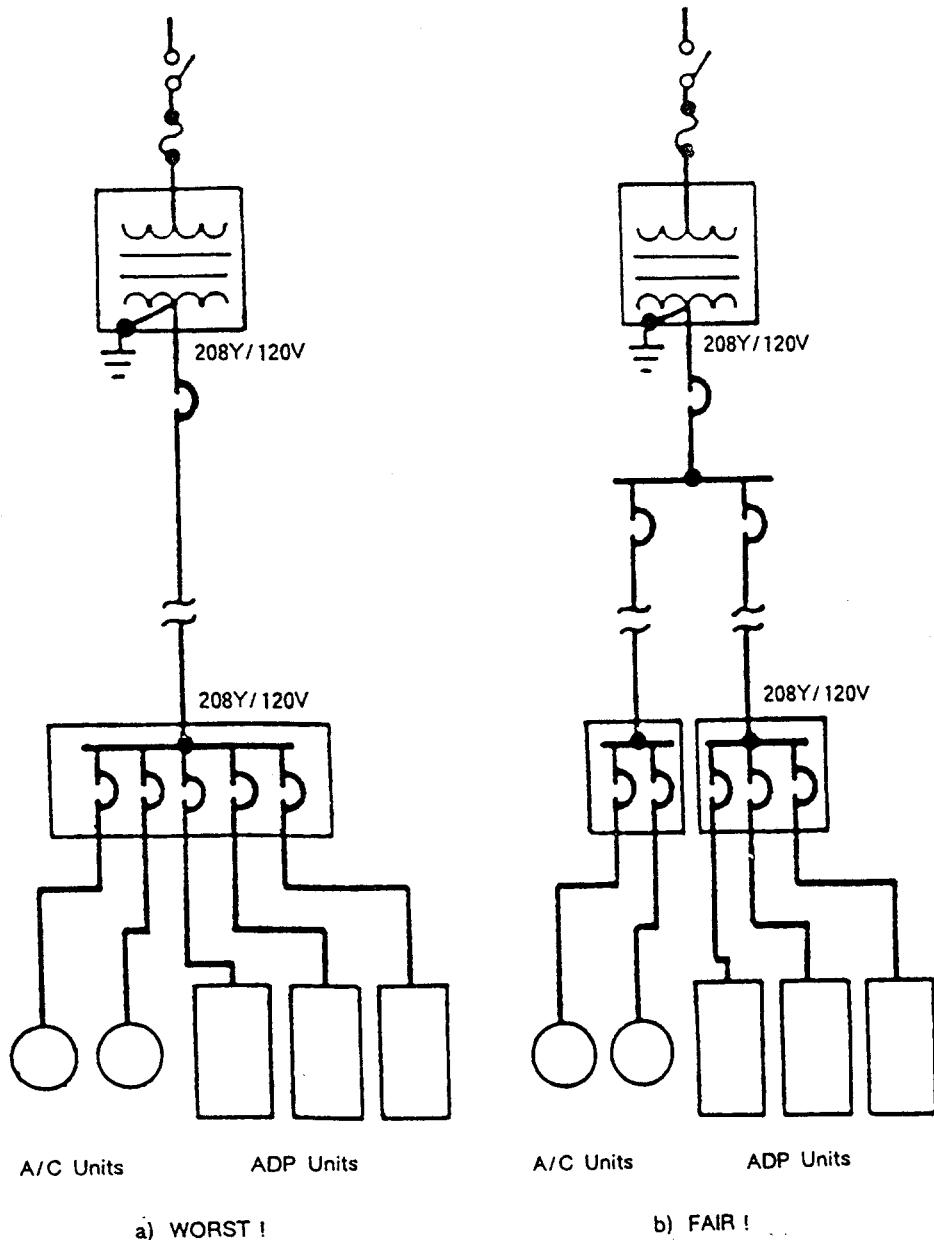


전원선을 통한 전도성 노이즈를 저주파에서 최대 140dB까지 차단하여 Aircon 등  
모터류에서 발생되는 전자파와 분리한 구조

## 4 IBM에서 권고하는 컴퓨터의 접지체계

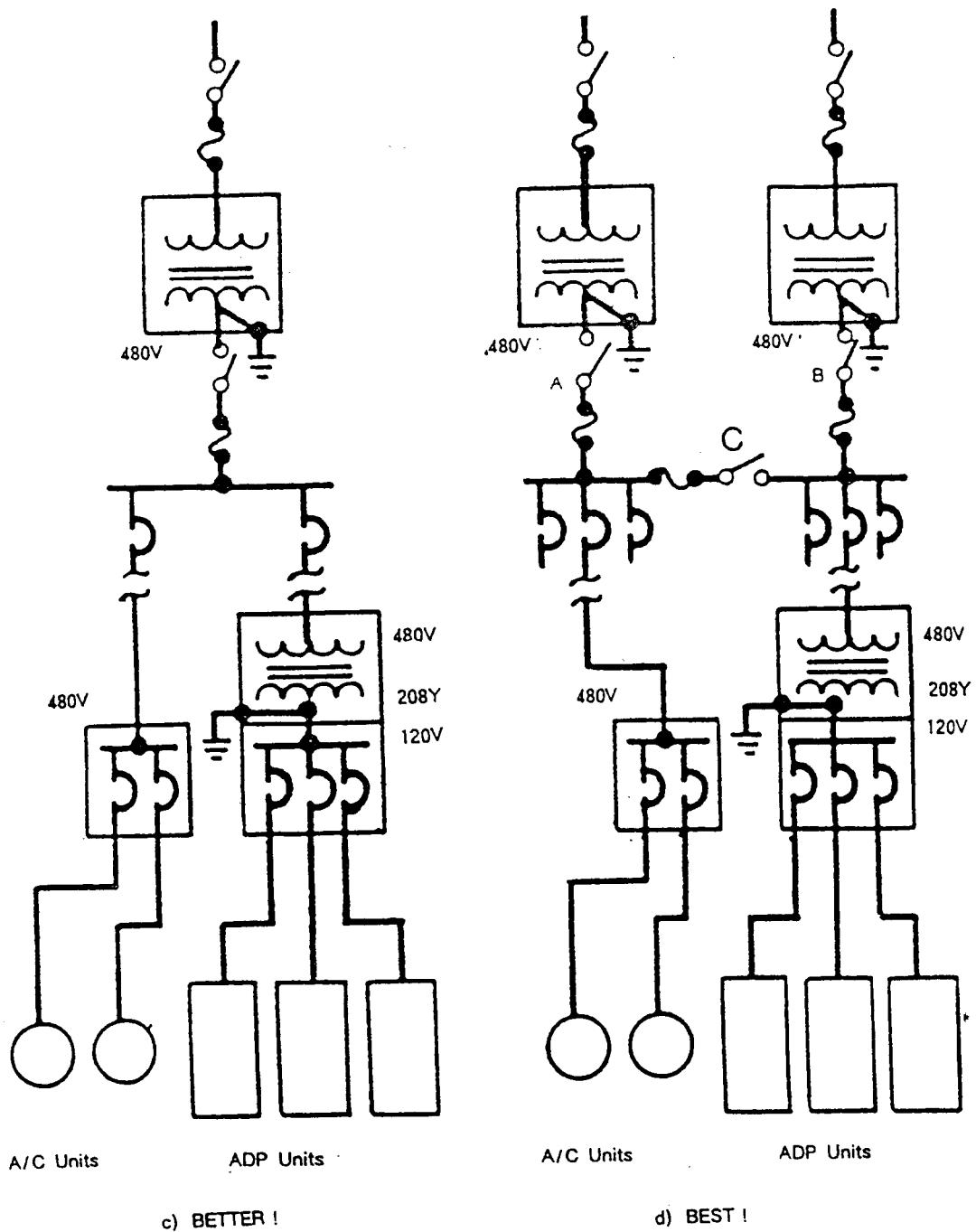
### 가). Computer Grounding System

(1) 전원에서 ADP 설비까지(잘못된 예)



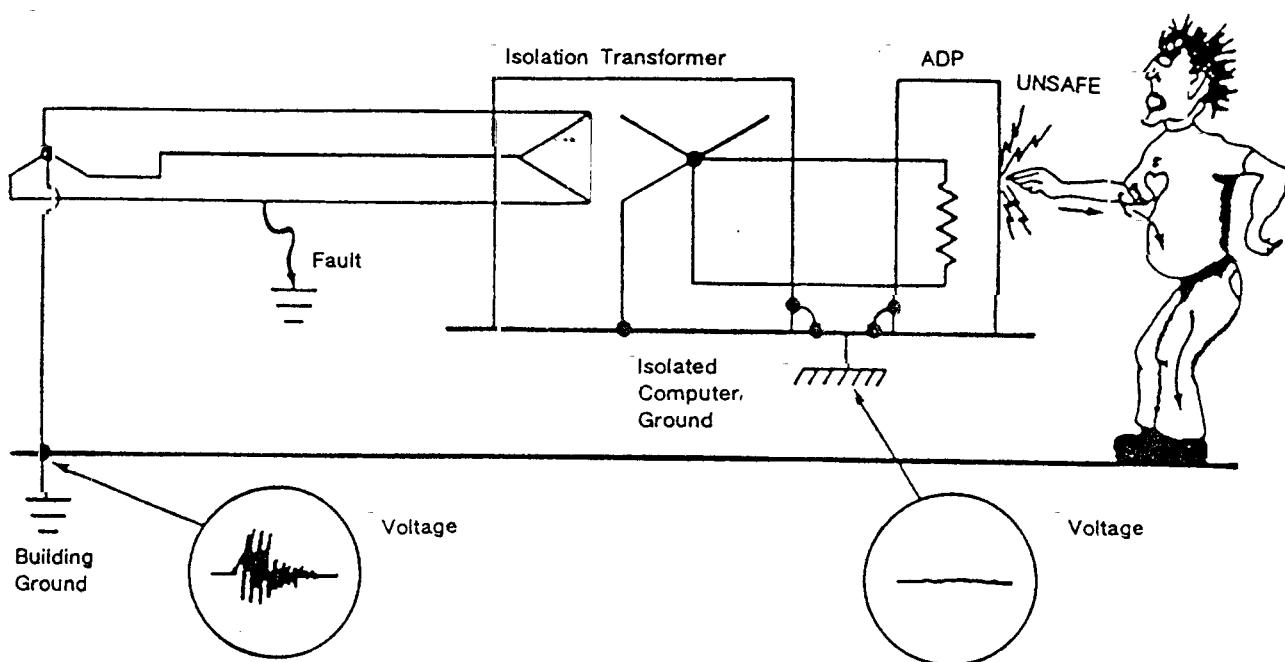
여기서 AC Unit은 모터가 내장된 전기제품. 순시과전압이 발생되는 장비. 순간적으로 전압강하가 일어나는 장비류를 말하며. 대형 모터 기동시 발생하는 High Inrush Voltage Drop이 컴퓨터에 영향을 줄 수 있는 장비를 말한다.

(2) 권장하는 컴퓨터 전원계통



전원선을 통한 전도성 노이즈를 저주파에서 최대 140dB까지 차단하여 Aircon 등  
모터류에서 발생되는 전자파와 분리한 구조

#### 나. Isolation Grounding (분리접지)이란?

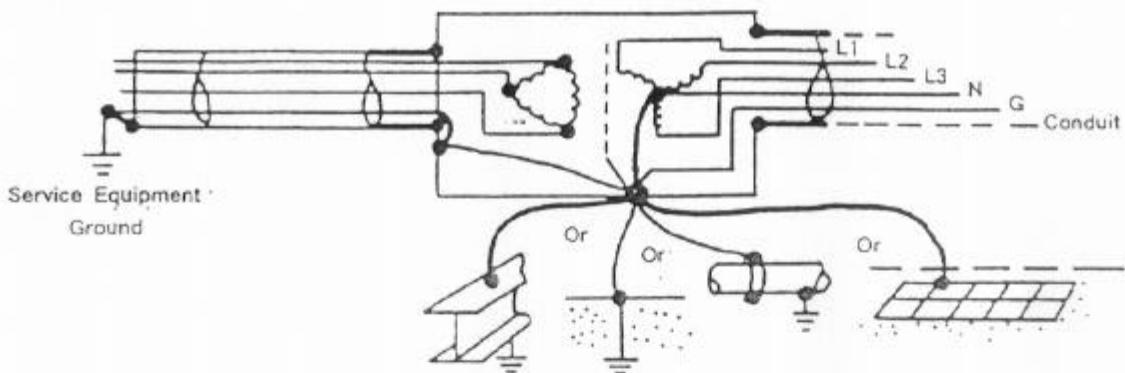


Isolation Grounding이란 Isolation Transformer의 뛰어난(감쇄량 최대 140dB) 저주파 차단특성을 이용하여 전원의 급전측과 전자기적 노이즈의 전도성분을 효과적으로 차단하는 방법을 말한다.

때때로 컴퓨터 제조업체는 컴퓨터접지를 통한 잡음유입과 낙뢰를 방지하기 위해 별도로 설치해 줄 것을 요구하는데 이는 National Electric Code Articles 250-26과 250-81에 위배된다.

이와 같이 분리접지를 한 경우 별도로 인출된 컴퓨터접지와 건물접지점을 땅속을 통해 용접하여 주는 것이 필요하다. 그럼에서 보는 바와 같이 컴퓨터용 접지와 건물접지와 전위차가 나면 인체를 통해 누설전류가 흘러 다소 위험한 면이 있다. 물론 컴퓨터 설치 바닥과 컴퓨터접지가 등전위일 때는 제외된다.

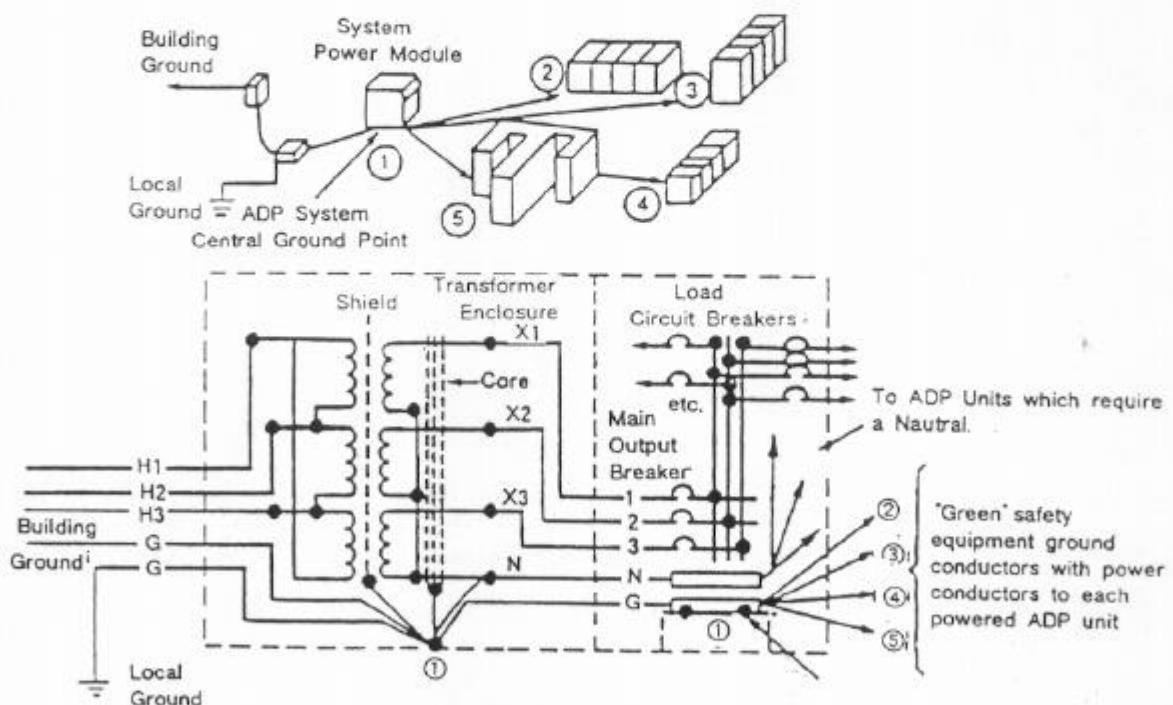
다. National Electric Cord 250-26에 따른 전원접지



NEC 250-26에 따르면 모든 접지는 위 그림과 같이 뮤도록 되어 있다.

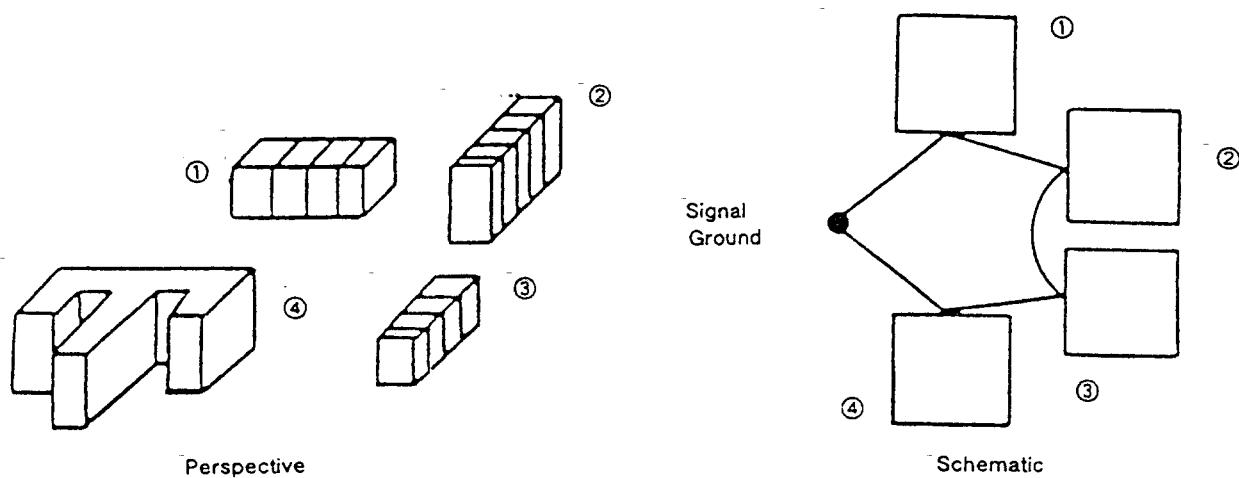
인체안전을 우선적으로 고려한 접지방법으로 전자파 노이즈 결합측면에서 보면  
다소 문제가 있다.

라. 3상 전원을 이용하는 설비의 1점 접지 예

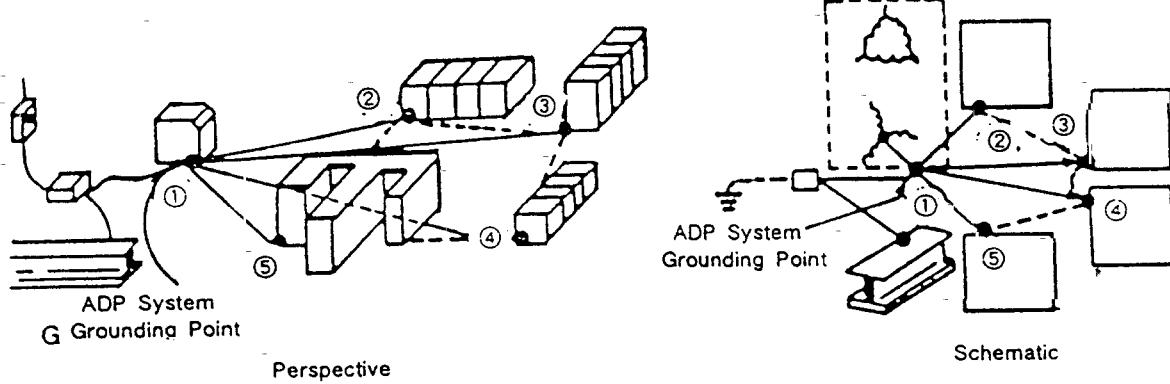


앞서 설명하였듯이 컴퓨터 전원계통의 1점접지는 접지루프에 의한 결합을 방지하기 위해 단 1점에 접지되도록 하는 것을 말한다.

(1) 여러설비가 있을 때 1점접지의 구조



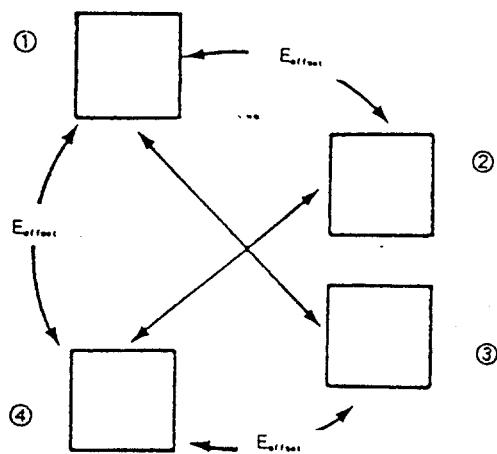
1점 접지를 하면 접지선의 길이가 길어지고 이로 인해 고주파에서 접지선이 높은 임피던스를 갖게 된다.



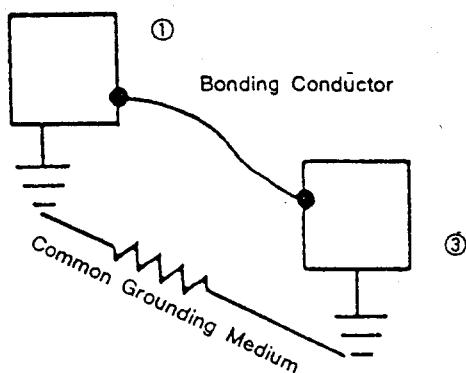
1점 접지를 하면 접지루프가 없어져 유리한 반면 접지선의 길이에 따른 전위차가 2-3, 4-5간에 발생된다. 이 전위차를 낮추기 위해 그림의 점선으로 표시되는 2-3, 3-4, 4-5, 5-2 같이 등전위 유지용 도체를 연결할 수 있는데 이는 낙뢰방지에는 적합할지 모르나 여러 개의 접지루프를 발생시킬 수 있어 주의해야 한다.

(2) 1점 접지시 문제점과 등전위 유지를 위한 Bonding시 문제점

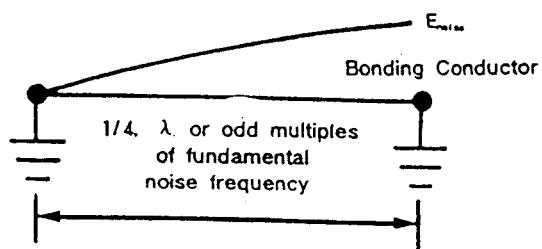
① 기기간의 전위차 발생



② 기기간 Bonding으로 등전위 유지  $\rightarrow$  루프발생  $\rightarrow$  용도별 선택



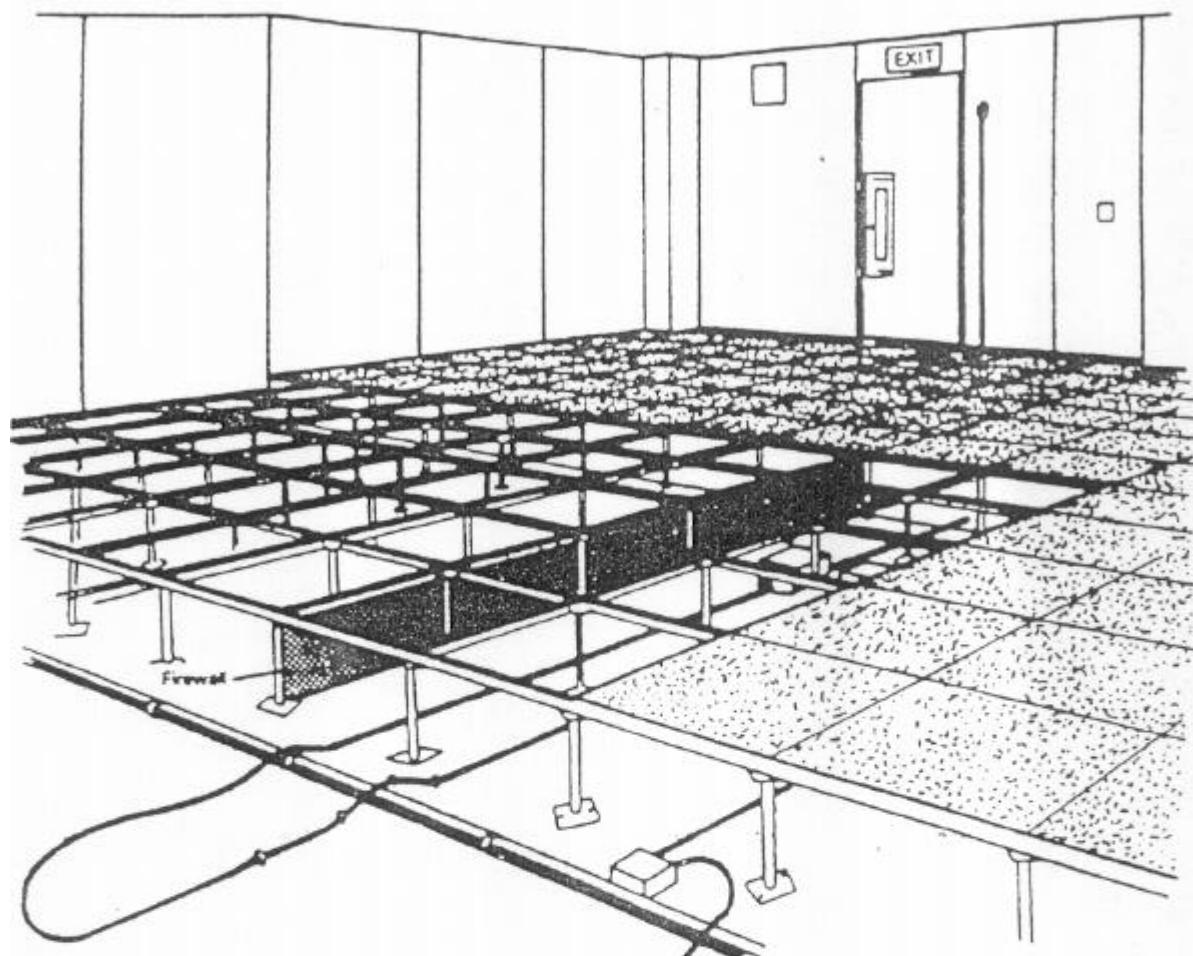
③ 도체의 공진특성으로 접지선 길이의 제한



Bonding선의 길이 1/20파장 이하로 할 것

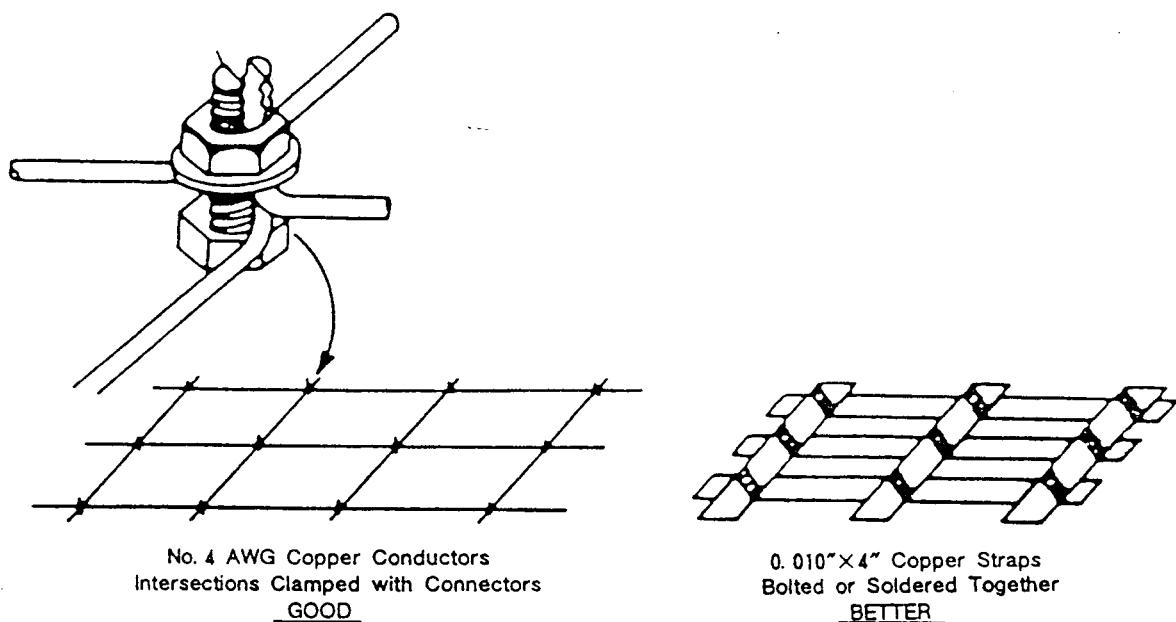
## 마. 전산실 바닥처리(접지)

### (1) 전산실 바닥의 신호용 기준 접지망 처리

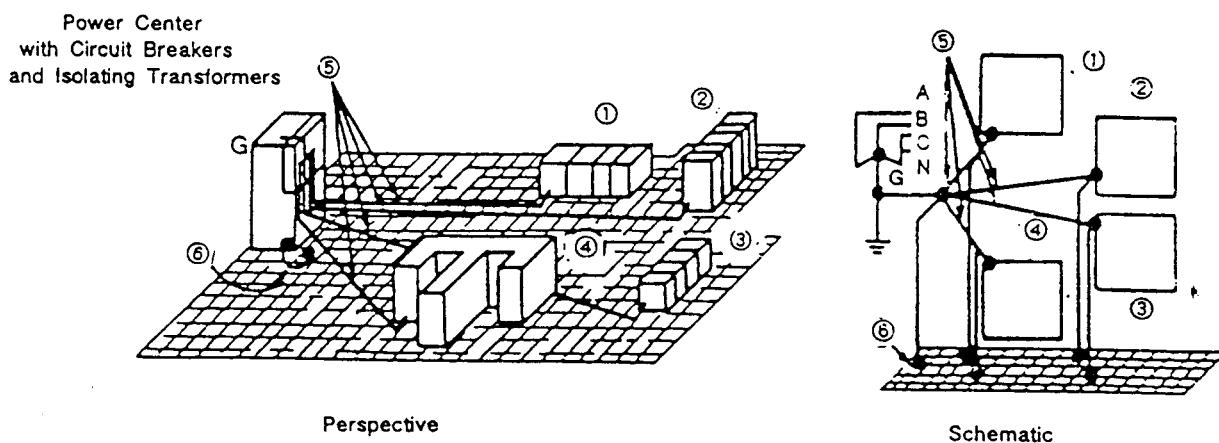


- ① 바닥의 접지선을 전기적으로 낮은 저항을 갖도록 확실하게 연결한다.
- ② 건물자체의 금속과 분리한다.
- ③ 바닥의 높이는 최소 30cm, 최대 70cm 이하로 하고 전산실이 넓을 때는 화재 방지용 격벽을 설치한다.

## (2) 전산실 접지망(Grid) 연결법

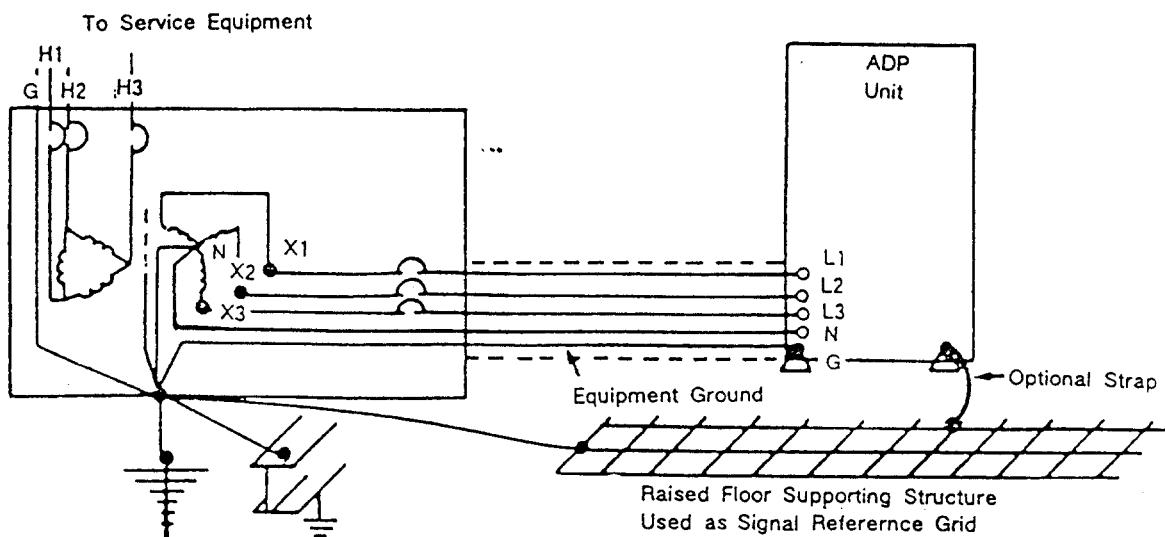


## (3) 전산실 바닥의 기준신호 전위유지용 접지망의 설치



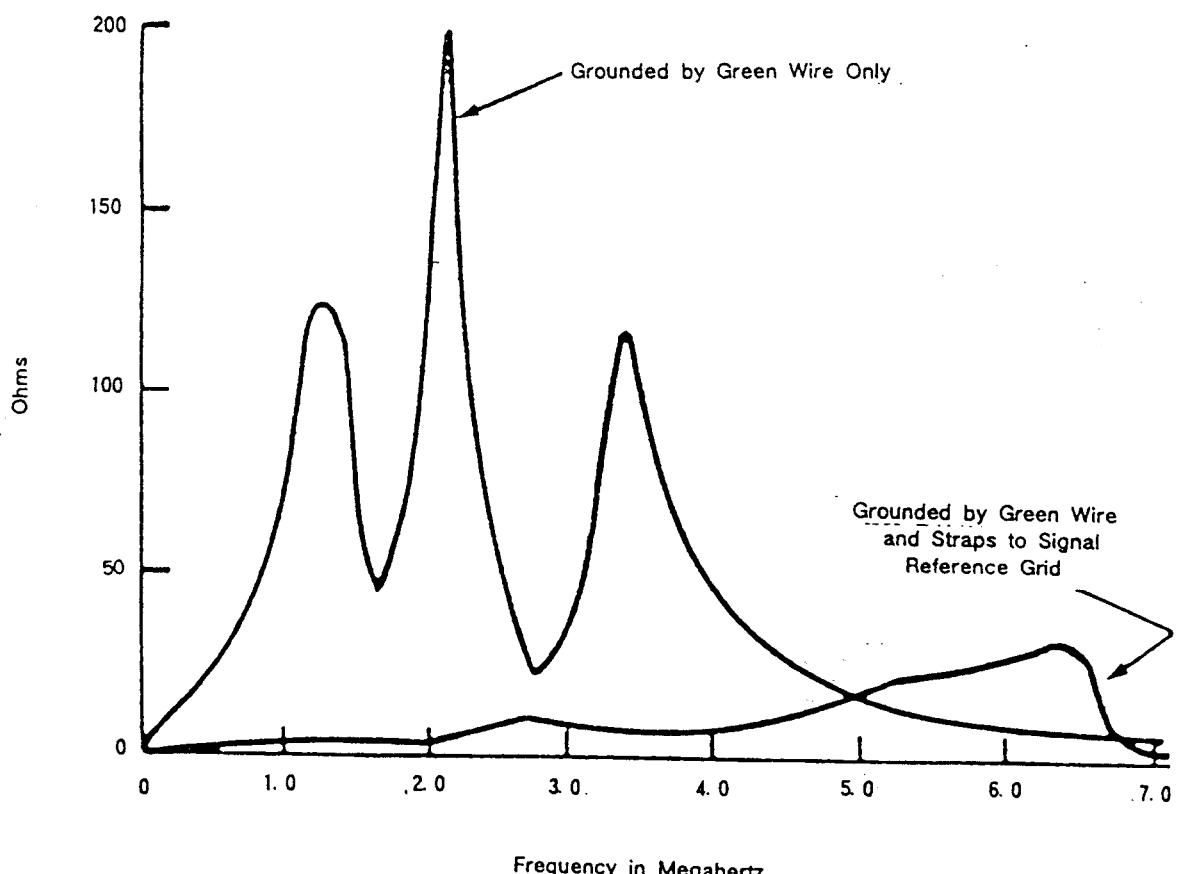
- ① 1—4까지는 일반 컴퓨터 시스템 모듈임
- ② 5는 Green Wire로 장비안전을 위한 접지도체
- ③ 6은 전산실 바닥용 안전접지

#### (4) 전산실 바닥의 접지망과 설비접지의 연결구조



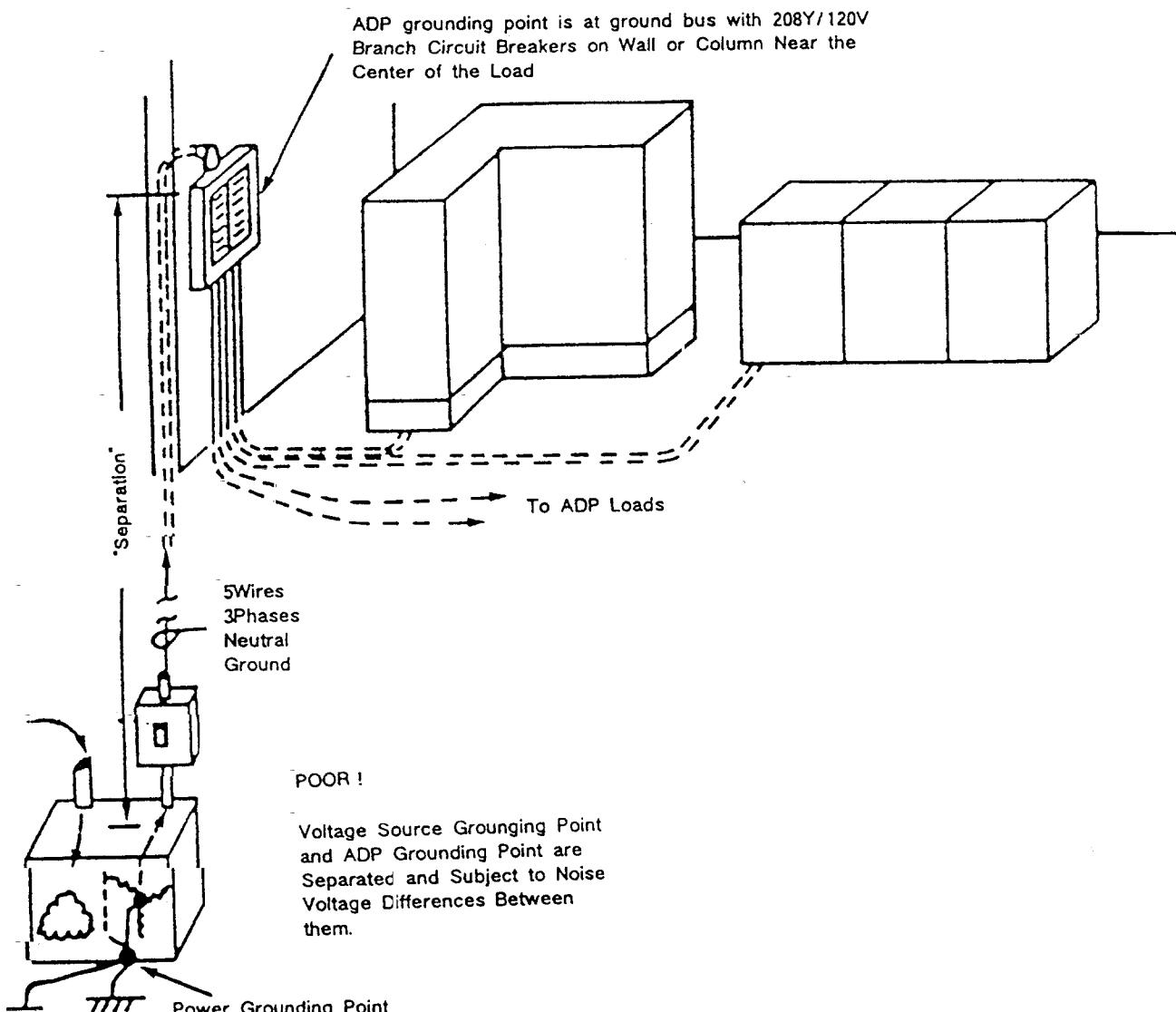
Optional Strap은 낙뢰방지 등의 경우 연결될 수 있으나 컴퓨터의 오동작 측면에서는 반드시 단선(Open)되어야 한다.

#### (5) 접지선의 구조에 따른 임피던스 변화

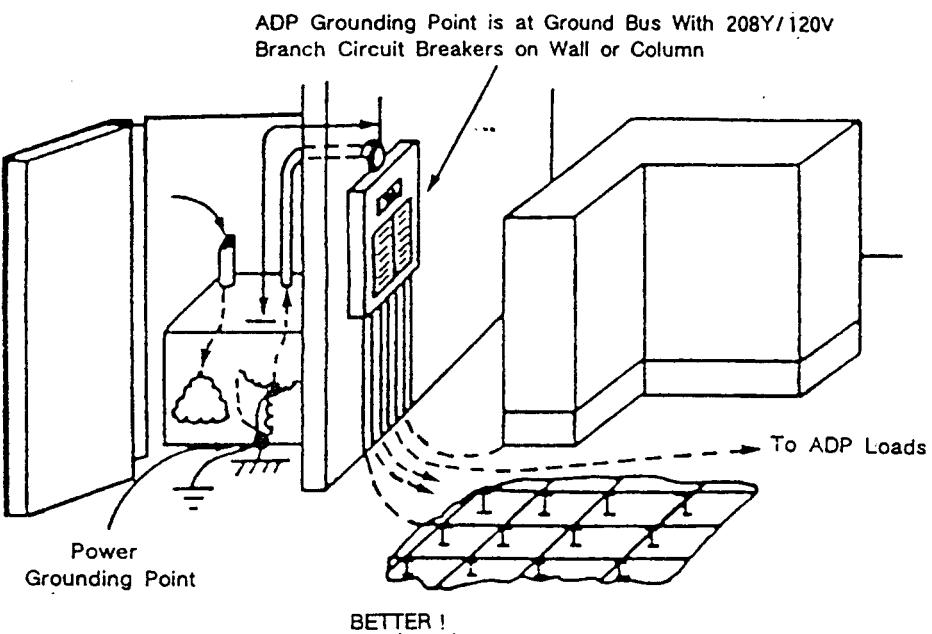


## 바. 절연 트랜스의 설치위치 및 설치방법

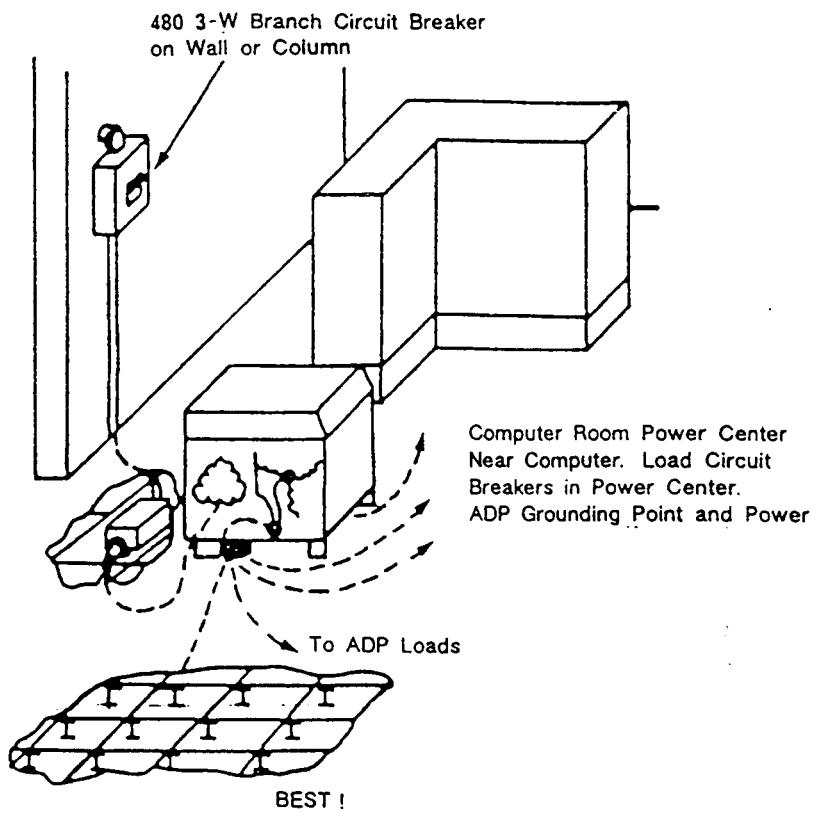
### (1) 잘못된 절연 트랜스의 설치



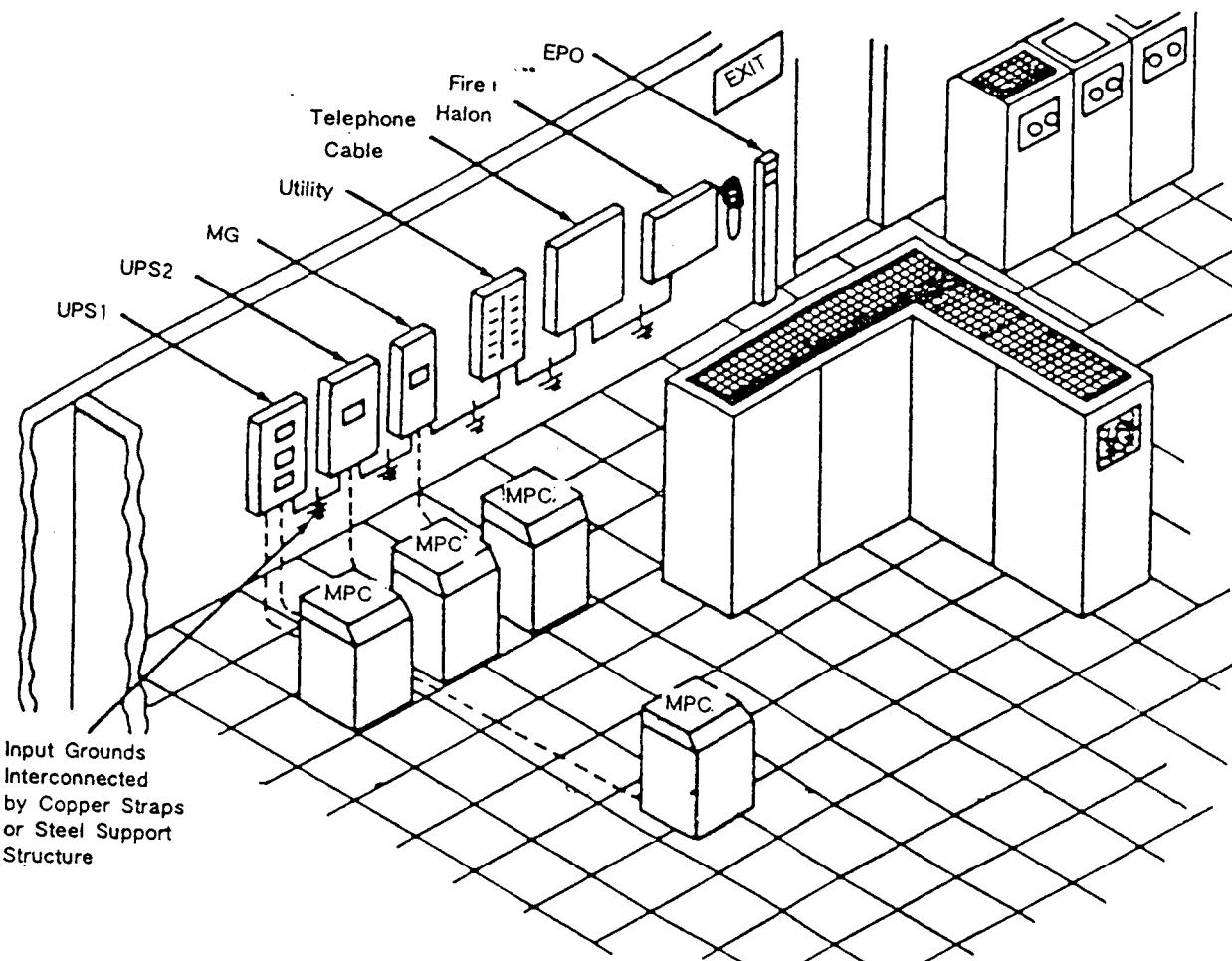
## (2) 보다 나은 설치 방법(접지점을 분리)



## (3) 이상적으로 설치된 경우



#### 사. 여러 개의 전원설비가 있는 전산실의 장비 배치

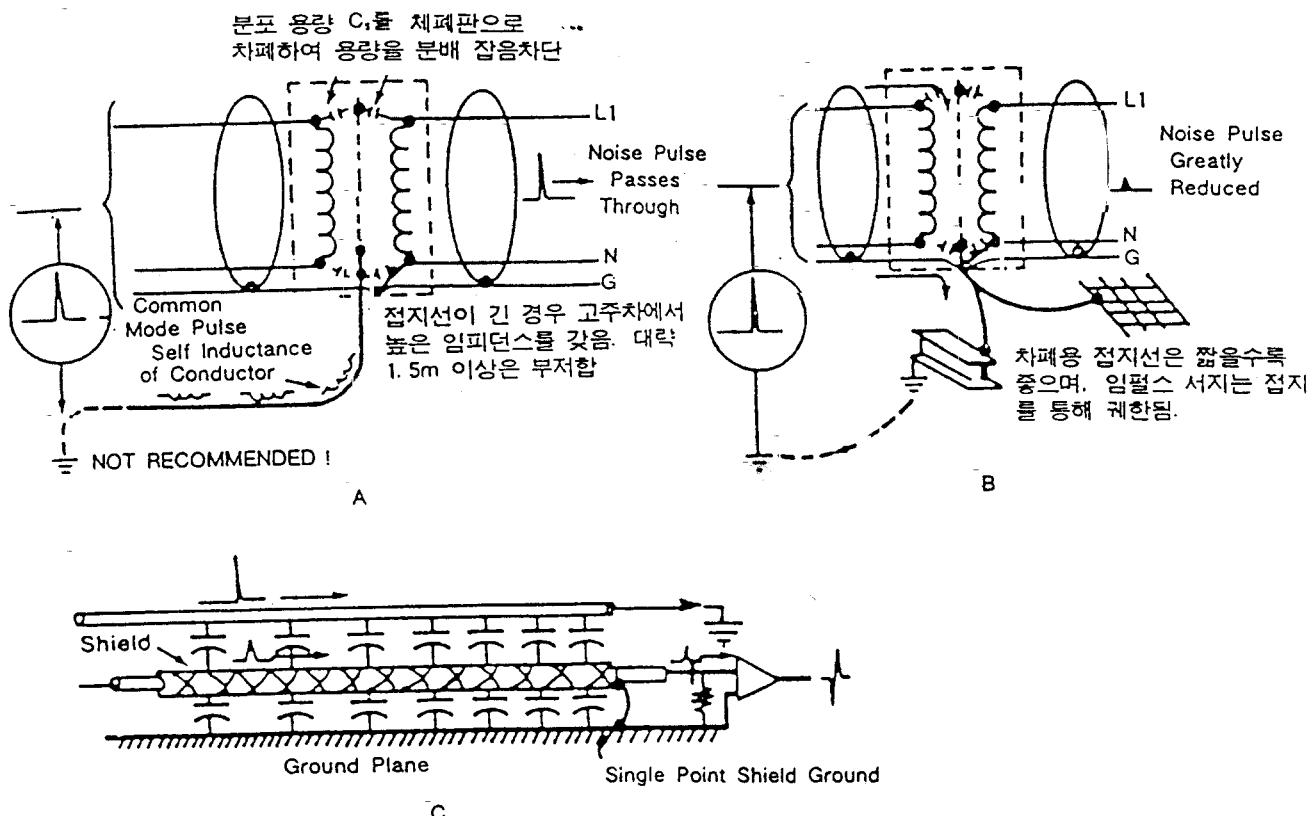


##### - 여러개의 모듈러형 전원실

출측 접지점은 짧은 연결 케이블이나 같은 신호 기준 전위의 접지망에 스트랩으로 상호 연결될 수 있다. 이는 신호 기준 전위점의 낮은 전위차를 유지할 수 있으며 여러 전원 접지점 간을 1점 접지에 가까운 구조로 구성 할 수 있다.

## 아. 실딩용 접지

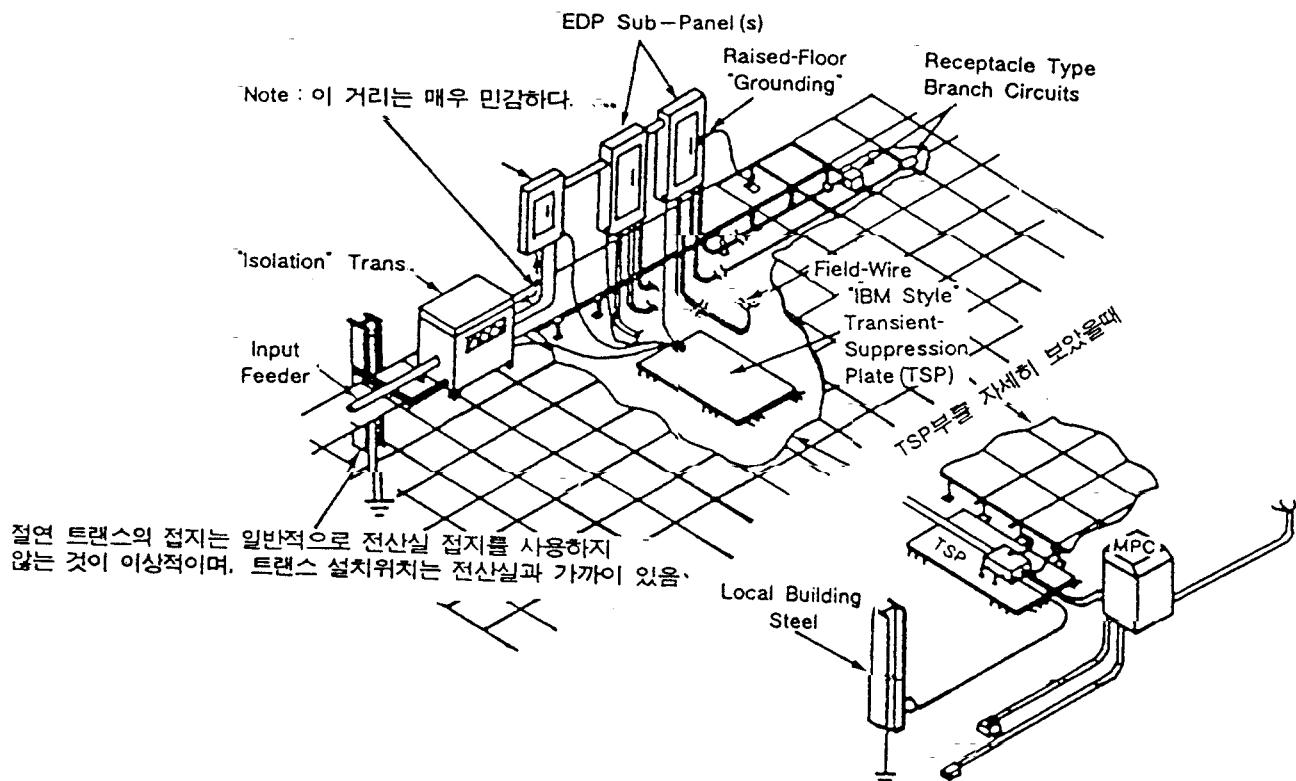
### (1) 절연 트랜스의 접지처리와 실드 케이블의 접지처리



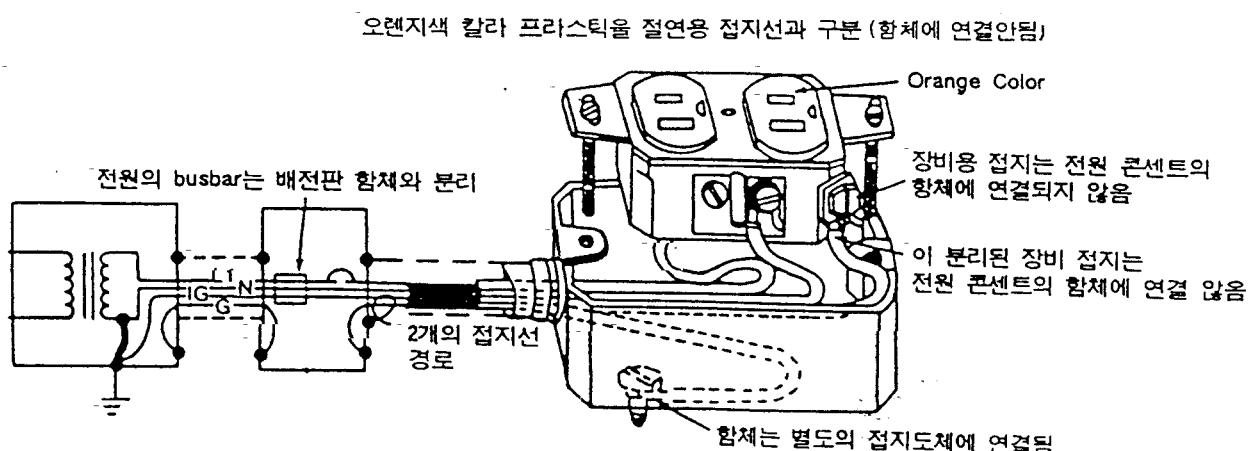
#### 차폐용 접지는:

- 접지선이 길면 임피던스 증가로 차폐에 부적합
- 접지선이 짧으면 임펄스 서지를 효과적으로 차단
- 차폐선의 1측을 접지하는 1점접지는 1-10MHz에서 비효과적일 수 있음
- 1점접지로 효과를 얻을 수 없거나 주파수가 높으면 다점접지가 요구됨

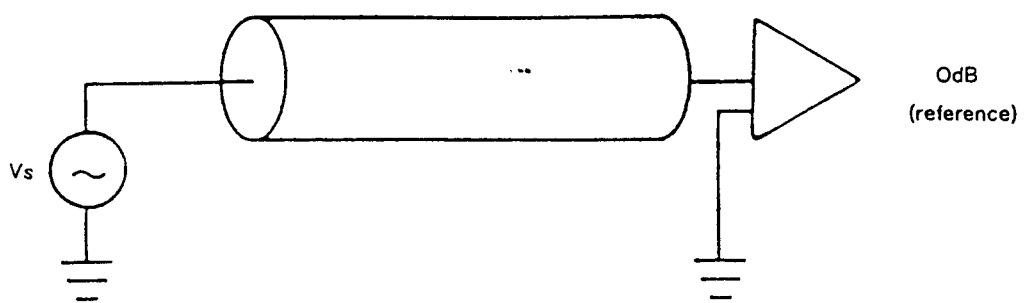
## 자. 컴퓨터 전원의 과전압 보호



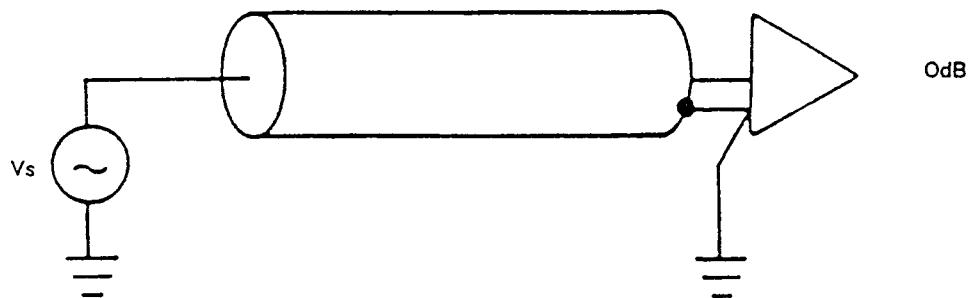
전원 Receptacle(절연 접지도체는 패널보드를 그냥 통과시키나, 서비스 접지단자에 직접 종단한다)



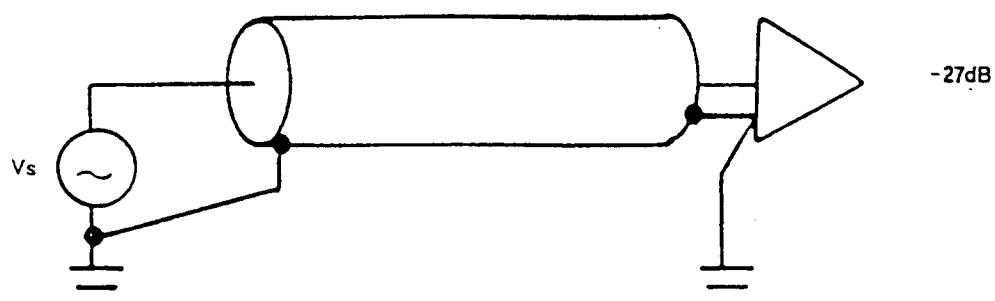
### 차. 차폐선 접지처리와 케이블의 종류에 따른 자기 차폐효과



① 교류자장에 차폐를 하지 않은 경우

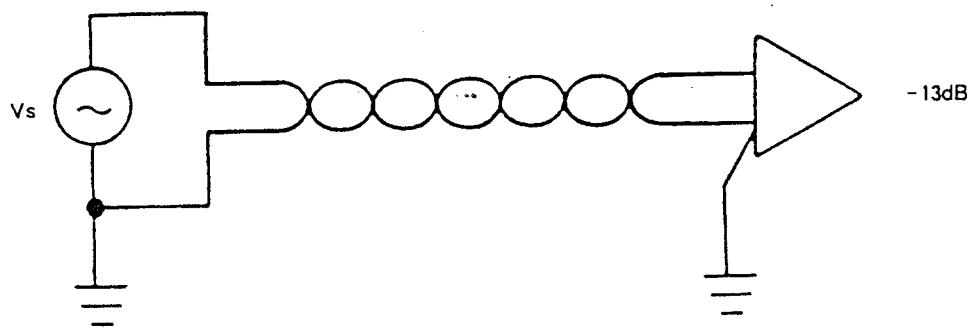


② 교류자장내 동축의 1측만 접지한 경우

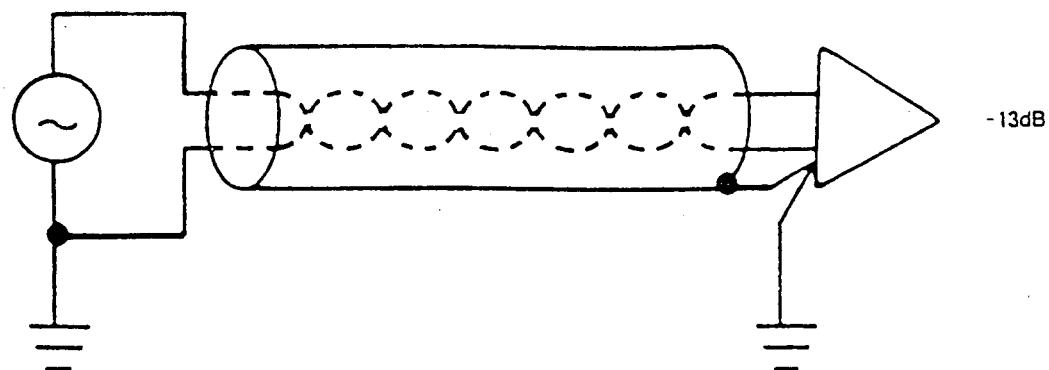


③ 동축의 양단을 접지한 경우

교류자장 차폐에 약간의 효과 있음.

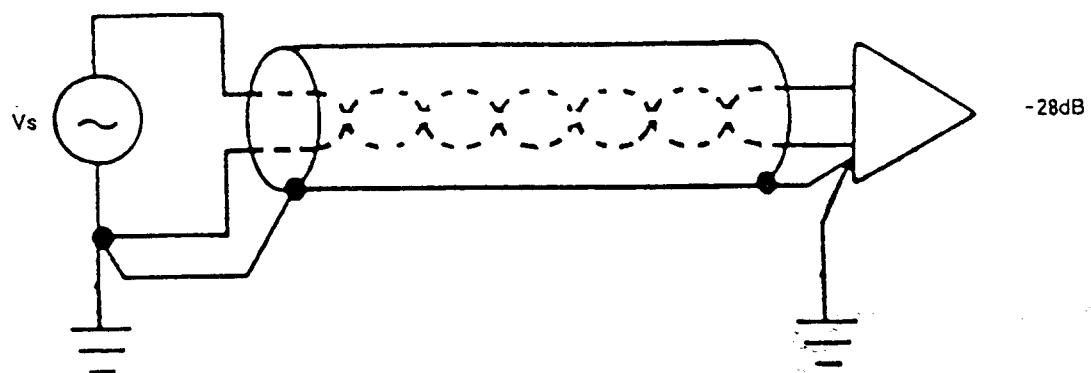


④ 트위스트를 하고 양단접지시(접지루프가의 형태만큼 줄어듬)



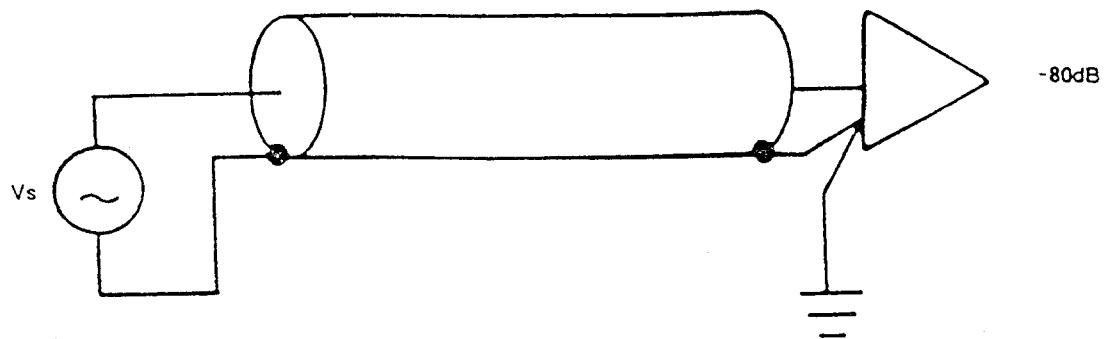
⑤ 트위스트에 실드선을 사용하고 차폐선의 1측을 접지한 경우

(1측 접지시 트위스트 효과에 도움이 되지 않음)



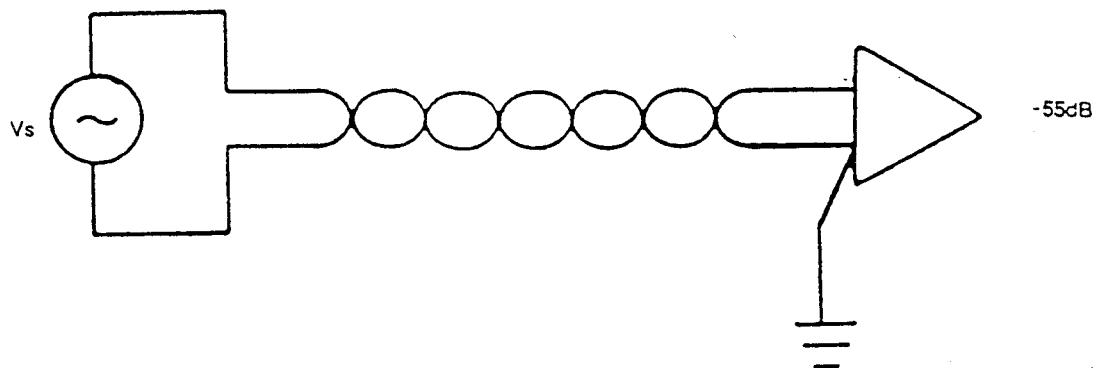
⑥ 트위스트, 차폐 양단 접지시

(양단 접지시 외부자계에 의해 유도된 에너지가 분지되는 효과, 실드 전류는 신호도체에 불평형 전압을 유기)



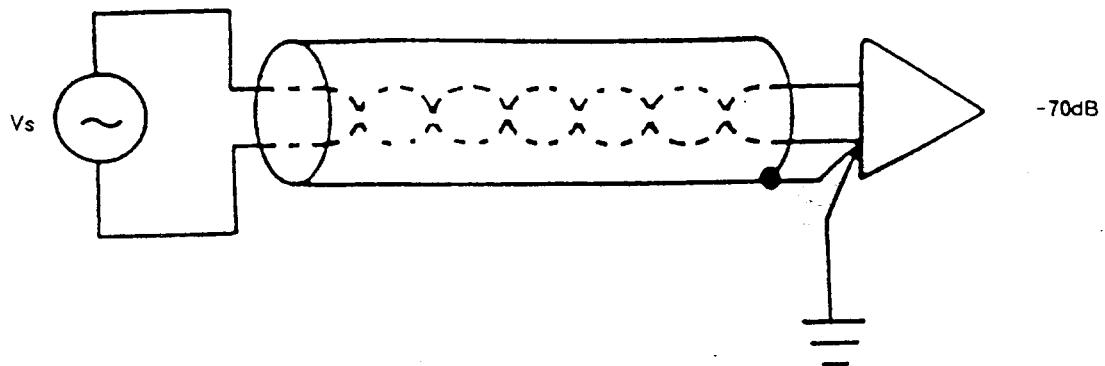
⑦ 동축선로의 한쪽 접지를 한 경우

(동축 케이블에 의해 작은 루프를 발생시키나 매우 양호한 특성)



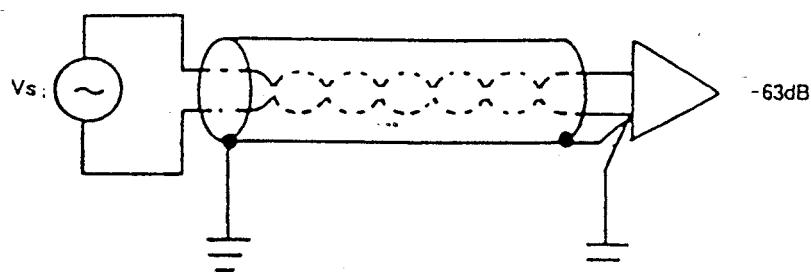
⑧ 2선 트위스트선을 사용하고 1측만 접지한 경우

(단지 트위스트 선을 사용하여 좋은 효과 기대, 감이수에 따라 효과 증감)



⑨ 트위스트 후 실드선 사용하고 종단측 실드선 접지

(1측 접지시 전장에 대한 차폐효과 상승)



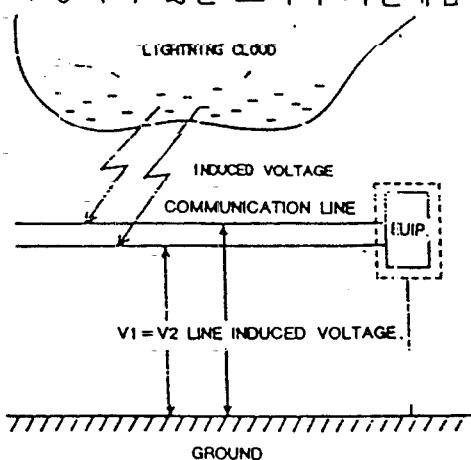
⑩ 트위스트 하고 차폐선 사용한 후 차폐선을 양측접지

- ⓐ 1MHz 미만의 주파수에서 양측에서 회로를 접지하면 접지루프가 발생하여 외부 자계로 부터 쉽게 영향을 받는다. 노이즈 감쇄는 교류자장에 대한 접지루프의 전위차와 민감도에 의해 제한을 받는다.
- ⓑ 1MHz이상의 주파수에서 또는 케이블의 길이가 1/20파장을 넘는 경우 차폐체의 양단접지가 보편적인 방법이다. 차폐선은 매 1/10파장마다 접지한다.

## 5 접지저항의 크기에 따른 낙뢰 보호특성

### 가. 낙뢰의 발생과 피해

낙뢰의 발생은 급격한 기류변동과 온도변화에 의해 대기가 대전되어 있다 전위가 낮은 구름 간에 또는 대지로 방전하는 현상을 말하는데 낙뢰는 인류역사와 함께 해왔고 이에 대한 많은 연구도 수행되었다. 통상적으로 낙뢰의 전기적 에너지는 엄청난 양으로 해마다 여름이면 구릉지가 많은 도시의 가전제품 등에 많은 피해를 준다.



(그림 5-26) 낙뢰의 발생과 유도

#### 나. 낙뢰 보호회로

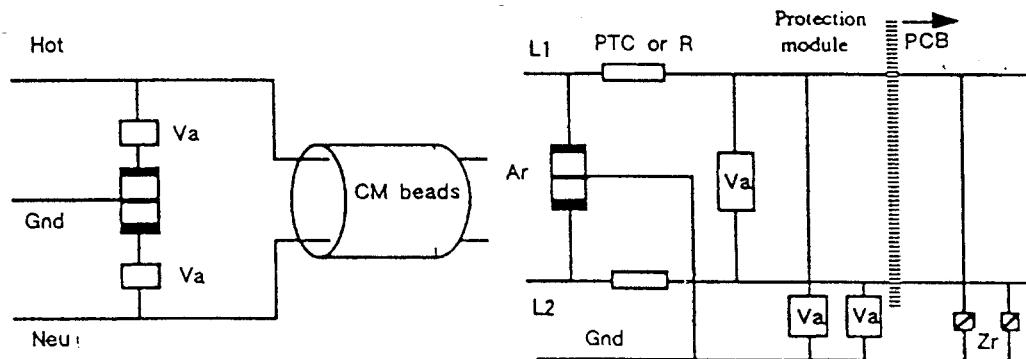
일반적으로 건물상단에 피뢰침을 부착하여 대전된 구름의 전하를 대지로 방전하기 전에 대지로 흡수될 수 있도록 하는 물리적인 방법이 있으며, 전자회로적으로는 순시과전압 보호소자를 사용하여 회로를 보호한다.

순시과전압 보호소자는 응답속도, 전류내량, 정전용량, 누설전류에 따라 선택되며 삽입위치는 전원선과 통신선의 입력단에 삽입한다.

일반적으로 많은 사람들이 낙뢰보호 소자의 삽입위치를 잘못 알고 있는데 순시과전압 보호소자는 선간 즉, 활선과 중선선에 삽입하는(Normal Mode) 것보다 1선과 대지간(Common Mode)에 2개를 삽입하는 것이 중요하다.

뿐만 아니라 낙뢰의 의사시험시 높은 전압을 인가하면 과전압보호소자의 특성을 완전하게 시험하는 것으로 생각하기 쉬우나, 오히려 낮은 전압(대략 2~4kV)으로 반복적인 시험시 과전압보호소자가 동작하지 않는 경우가 많으므로 유의할 필요가 있다.

또한 낙뢰 다발지역에서는 발생빈도수에 따라 과전압 보호소자를 교체해 줄 필요가 있다.



(a) Surge protection circuit for Power line      (b) Surge protection circuit for Signal line

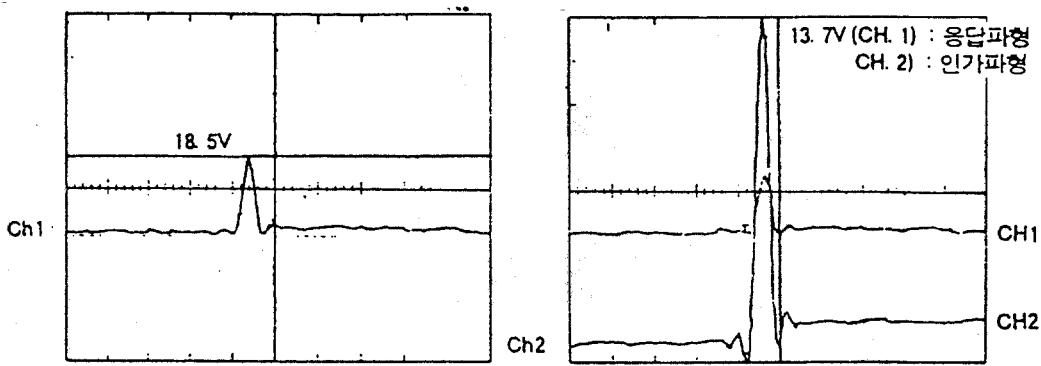
(그림 5-27) 전원선과 통신선의 낙뢰 보호회로

#### 다. 접지저항의 크기에 따른 낙뢰보호 특성변화

낙뢰보호는 접지저항의 크기와 매우 밀접한 특성을 갖는다.

다음 그림에서 보는 바와 같이 같은 회로에서 접지저항이 4.5옴인 경우와 1.5옴인 경우를 비교했을 때 보호회로 후단의 2차측 전압이 18.5V, 13.7V로 4.5V정도 보호특성이 우수한 것을 알 수 있다. 따라서 접지저항은 낮게, 접지선의 굵기는

굵게, 접지선의 길이는 짧게 하는 것이 낙뢰 및 전자파로 인한 오동작을 최소화할 수 있다. 또한 전원선과 통신선 초단에 선간에 삽입되는 보호소자로 제너 다이오드는 절대 사용할 수 없으며, 3극 어레스터나 바리스터를 사용해야 한다.



(a) 접지저항이 4.5옴인 경우

(b) 접지저항이 1.5옴인 경우

[그림 5-28] 접지저항의 크기에 따른 과전압 보호특성 변화

6 컴퓨터의 정보보안

### 가. 정보보안의 개념

정보보안이란 사용중인 컴퓨터로부터 방사되는 전자파에서 상대방의 필요한 정보를 빼가는 것에 대한 방지기술의 일종으로 일반적으로 TEMPEST라 부르고 등의 어로 Compromising Emanation가 사용된다.

실 사례로 구 소련내 미대사관 도청사건을 비롯하여 국내에서도 최근에 문제되었던 사례가 있다. TEMPEST의 어원은 Violentstorm이 아니고 Temporary Electro-Magnetic Purturbation Emanation System Technology의 약자로 알려져 있다. TEMPEST는 Red와 Black으로 구분되는데 전자의 경우 전기·전자회로, 부품, 장치, 시스템에 의한 전기신호정보가 최고의 기밀에 해당될 때 제한되는 상한값이며, Black은 기밀이 아니고 단지 암호화(Encryted)된 정보 전송시 제한되는 상한값이다. 이와 관련된 규격은 각국의 외교기관, 군관계의 비밀통신과 관련되므로 입수하기 곤란하지만 알려진 관련규정은 다음과 같다.

- NACSEM 5100A  
FS-222.....NAG-1A/TSEC.....NACSEM 5100.....NACSEM 5100A

여기서 NACSEM은 National COMSEC/EMSEC을 말한다.

— 문서구분 :

QSTAG 244 : 극비문서, Nuclear Survivability, NEMP

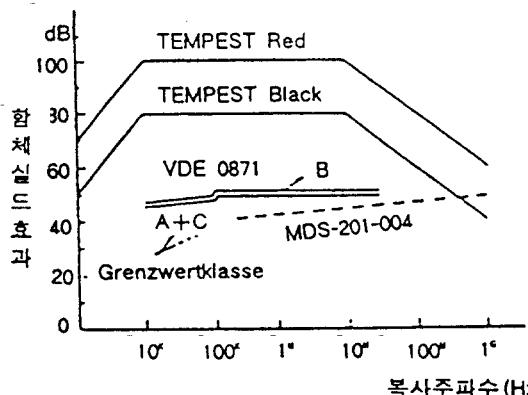
QSTAG 620 : 위 관련 Instruction

TEMPEST의 성능평가는 기기를 TEMPEST Shield를 한 결과 누설신호 레벨의 감소량을 측정하는 것으로 송수신기로는 컴퓨터를 사용하는 시스템을 기준으로 측정하는 것이 보편화되어 있으며, 미국의 경우 기기별로 개별적인 인증제도를 운영하고 있어 연방정부와 공공기관에서 시행하고 있다.

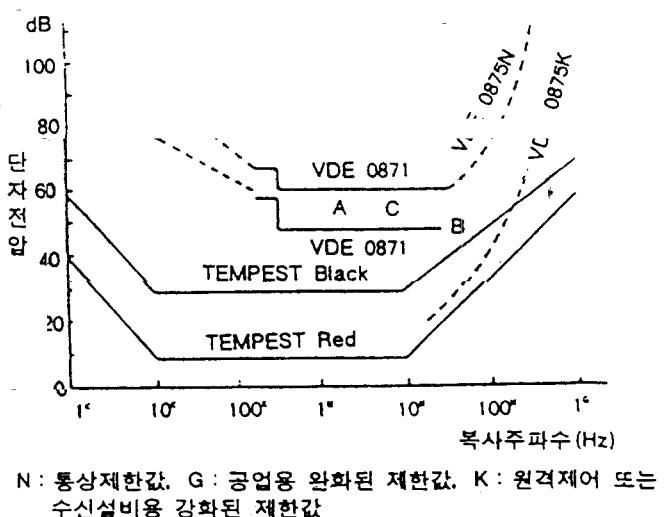
미국에서 제조 판매되고 있는 TEMPEST용 수신시스템은 1kHz-12.4Hz까지 협대역 IF신호를 -140dBm까지 수신할 수 있는 고감도 수신기로, 전용장비로는 AEL Depense Co.의 제품과 WJ-8999장비가 관련규정을 만족하고 있다.

나. 제한값

TEMPEST용 실드는 일반장비보다 한층 높은 (그림 5-29)와 같이 실드를 규정에 요구하고 있으며, TEMPEST방지를 위해 기기의 방사 전자파의 제한치도 일반적으로 상용기기에서 요구하는 기준보다 훨씬 낮아 (그림 5-30)과 같다.



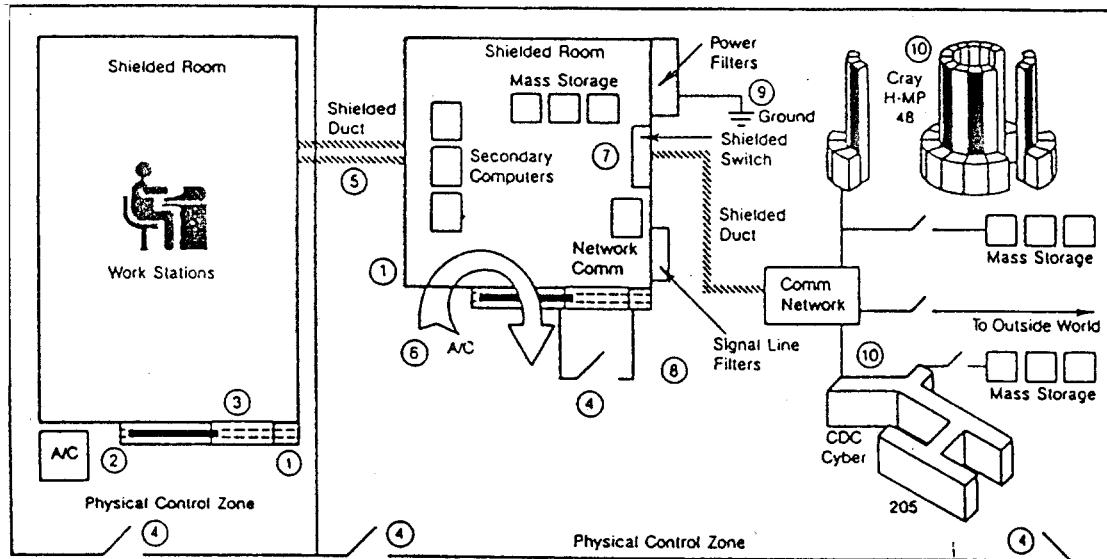
(그림 5-29) Shielding Box에 요구되는  
실드효과



(그림 5-30) 방사성 전자파 제한값

#### 다. 슈퍼 컴퓨터의 정보보안

슈퍼컴퓨터 Cray X-MP, Cray 2, CDC Cyber 205 그리고 Fujitsu VP 4000 등을 정보 보안체계로 갖추기 위해서는 경제성 등을 고려하여 다음과 같이 권고한다.



- ① 실드룸은 모건물과 전기적으로 절연되어며 분리된다.
- ② AC 덕트는 전기적으로 절연되어며 전원선은 Honeycomb RF Vent를 통해 공급된다.
- ③ 도어는 압축공기로 개폐된다.
- ④ 출입문의 열쇠는 가변용 열쇠 또는 카드형 열쇠를 사용한다.
- ⑤ 실드 덕트는 RF적으로 완벽하게 차단되는 구조여야 한다.
- ⑥ 환기를 위해 모건물로부터 연결되는 냉 난방구는 Honeycom으로 차폐되어야 하며, RF가 차단될 수 있도록 덕트의 길이와 단면적 등이 정해져야 한다. (1/10 파장 이하)
- ⑦ RF 실드 케비닛은 기구적으로 슈퍼 컴퓨터와 차단할 수 있어야 하며 차단 후에도 내부적으로 완전히 분리된 상태에서 동작될 수 있어야 한다.
- ⑧ 모든 입출선(IDS, 화재경보 등)은 필터처리를 해야 한다.
- ⑨ 모든 실드설비의 접지선은 동선을 사용한다.
- ⑩ 슈퍼 컴퓨터는 구조적으로 공간을 줄이고 정보가 누설되지 않도록 장비배치에 주의를 요한다.

## 7 차폐접지

### 가. 차폐

케이블의 도체는 그 표면이 평활하지 않아 전계가 불균일하여 부분적으로 코로나 방전이 일어나기 쉽고 도체표면과 절연체 사이에 공극이 생겨 절연성능이 저하한다.

이 약점을 보강하기 위하여 도체위에 반도전성 카본지 등을 감아 전선표면의 전위경도를 균일하게 한다.

절연체 위에는 금속피를 입히는데 케이블이 변형되었을때 절연지와 금속 쉬스간의 밀착을 유지하지 못하여 공극이 생기는 수가 있다.

그러므로 절연체 위에도 도체 차폐와 같은 반도전층을 설치하여 전계의 불균형 발생을 방지한다.

CV케이블에서는 절연체의 특성상 반도전층의 조그마한 돌기나 접촉불량도 문제가 되므로 22kV 이상의 케이블에서는 반도전층도 폴리에틸렌 혼합물로 하고, 절연층 성형과 동시에 상하반도전층을 같이 압출하여 제조한다.

결국 차폐는 도체 차폐와 절연차폐로 구분한다.

### 나. 차폐기준

단심으로서 2,000V이상, 다심으로서 5,000V 이상의 케이블에는 반드시 차폐시켜야 한다.

### 다. 차폐의 역할

도체 차폐는 도체와 절연체 사이의 공간에 가해지는 과도한 전압스트레스를 제거하려는 목적으로 절연체에 설치되며 다음과 같은 역할을 한다.

- ① 전계를 케이블내로 제한시킴
- ② 전압스트레스를 고르게 분포시키고 표면방적을 극소화시킴
- ③ 가공선로 또는 유도장애가 우려되는 케이블을 보호함
- ④ 통신장애를 방지함
- ⑤ 전격을 방지함(차폐층을 접지하지 않으면 전격의 위험은 증가될 수 있음)

## 라. 절연차폐

만약 절연체에 차폐를 하지 않는다면, 전계의 일부는 절연체로 흡수되나 대부분은 대기로 방전되며, 전계가 셀 경우 케이블 표면의 방전은 대기의 공기를 오존으로 환원시키면서 케이블 자켓과 절연체를 파괴하게 된다.

또한 케이블이 지표면에 근접하여 있고 그 사이의 공간으로 전압스트레스에 의한 방전이 발생되어 오존을 발생시킨다.

여기서 지표면이란 금속전선관 또는 비금속전선관이 물기에 젖어있는 경우 등이 해당된다.

마찬가지로 차폐되지 않은 케이블이 축축한 곳에 있거나, 그을림, 그리스 등 도전선의 얇은 막으로 덮혀있게 되어 전계가 국부적으로 제한되면, 대기로 방전되기 쉬운 부분으로 충전전류가 흐르므로 이때의 방전이 절연체 또는 자켓을 손상시킨다.

## 마. 전격

지하 덕트에 여러개의 회선을 각기 수용한 경우, 충전된 케이블 취급시 강한 전계에 의한 전격을 방지하기 위하여 차폐케이블을 사용하는 것이 이상적이다.

전격을 확실히 예방하기 위해서는 차폐층의 저항이 낮을수록 좋다.

이를 위하여 적당한 굵기의 접지선을 차폐층에 추가시키는 방법이 있으며, 위와 같은 전격예방조치는 지하덕트 내의 케이블 뿐만 아니라, 지상에 포설된 케이블에도 케이블 취급작업이 있으면 가능한 한 적용시켜야 한다.

## 바. 접지형 차폐케이블

차폐케이블을 포설할 때 차폐층은 반드시 접지되어야 하며 도체가 각기 차폐되었을 때는 각각 모두 접지되어야 한다.

접지선이 포함된 케이블은 케이블 양쪽 끝에서 접지선과 차폐층을 연결해야 한다.

안전을 위한 가장 확실한 방법은 차폐층을 케이블 양쪽 끝에서뿐만 아니라 중간에 연결한 부분에서도 접지시키는 것이다. 그러나 케이블 길이가 짧고 단심일 경우는 한쪽 끝에서만 접지하는 것이 이상적이다.

차폐층을 연결할때는 차폐층의 저항이 영구적으로 적어지도록 해야 한다.

크램프를 이용한 기계적 연결보다는 납땜이 우수하며 납땜과 볼트, 넛트를 조합

하여 연결하는 것이 가장 이상적이다.

#### 사. 도체 차폐총의 접지효과

단도체의 차폐총을 접지하는 데는 세심한 배려가 필요하다.

단도체의 경우는 도체에 흐르는 전류에 의한 유기전압과 옆의 케이블에 의하여 유기되는 전압에 의하여 다음과 같은 결과를 초래하기 때문이다.

① 차폐총을 한군데 이상 접지하면 순환전류가 흐르게 되는데 그 전류의 크기는 다른 케이블과의 상호 인덕턴스, 도체에 흐르는 전류크기, 차폐총의 저항에 따라 결정된다.

그리고 이런 순환전류는 차폐총에 열손실을 유발하여 케이블의 허용전류를 감소시킨다.

② 차폐선을 한쪽만 접지시키면 차폐총에 전압이 발생되는데 전압의 크기는 다른 케이블과의 상호 인덕턴스, 도체에 흐르는 전류 접지된 부분까지의 차폐총 길이에 따라 결정된다.

이 전압은 항상 방전에 의한 위험을 내포하고 있으며 안전전압 이상으로 높아지면 인체에 치명적 영향을 주게 된다.

#### 아 차폐총의 다중접지

가능하다면 신뢰도 및 안전을 위하여 차폐총을 다중접지시키는 것이 이상적이다. 이렇게 하면 케이블의 리액턴스도 작아지고 인체에 치명적 영향도 주지 않게 된다.

다중접지에 관한 방법은 절연체 두께, 차폐총 도전성, 도체간격, 흐르는 전류 등의 변수가 복잡하므로 구체적으로 나열하기 어렵다.

다만 아래와 같은 경우의 단도체는 차폐총을 다중접지하는 것이 바람직하다.

① 125mm 이하의 차폐케이블로서 각상이 각각 독립된 덕트내에 포설된 경우  
※ 케이블의 각상의 전선을 자성체 전선관에 각각 포설하는 것은 높은 인덕턴스로 인하여 좋지 못하다.

② 한 덕트 내에 차폐케이블 3상 모두를 함께 포설하는 경우

③ 다중차폐총을 갖는 케이블

## 자. 차폐층 단일접지

아래 표는 단도체 차폐층을 한쪽에만 단일접지했을 경우에 발생되는 전압이 25V 이하로 되기 위한 케이블규격 및 최대길이를 표시한다.

〈표 5-1〉 케이블 규격 및 최대길이

공칭 단면적 ( $\text{mm}^2$ )	덕트당 1상포설	덕트당 3상포설
50	446m	1,513m
100	322m	1,076m
250	212m	671m

상기표의 길이는 조건에 따라 길어질 수 있다. 예를 들면, 케이블에 정격전류 이하로 전류가 흐르거나, 차폐층의 중간부분을 접지시켰을 경우는 길어진다.

케이블에 전류가 흐르면 전향에서 설명한 바와 같이 차폐층에 전압이 유기되고, 이 전압에 의해서 와전류가 발생되거나, 순환전류가 차폐층과 대지로 흐르게 된다.

와전류에 의한 손실은 상대적으로 작다. 3상케이블의 경우 손실은 대략 도체손실의 3~5%정도이다. 3상케이블이 하나의 공통차폐층으로 구성되면 순환전류는 차폐층에 나타나지 않고 단지 와전류만 발생될 따름이다. 그러나, 단심도체의 경우는 도체와 차폐층이 변압기의 원리와 같은 작용을 하기 때문에 상황이 달라진다. 즉 도체는 변압기 1차측과 같아 차폐층은 2차측이 되어 도체에 전류가 흐르면 차폐층에 전압이 유기된다. 이 경우 차폐층의 한쪽 끝을 접지하면 반대쪽에 대지전압이 형성되고 양쪽 끝을 접지하면 순환전류가 흐르는데 이때  $I^2R$ 에 의하여 손실과 열이 발생된다. 이러한 손실은 케이블 규격이 작을 경우 별 문제되지 않으나 도체의 크기가 아주 큰 IPB(Isolated Phase Bus Duct)같은 경우는 동손보다 커지는 경우가 있다.

단심케이블에서 차폐층을 양쪽 접지한 경우 손실은 대략 80mm<sup>2</sup>에서 7~12%, 1,000mm<sup>2</sup>에서 46~49%이다.



진극의 형태 및 치수에 관계한다.

3) 전극주위의 토양 자체의 저항은 대지저항율에 관계되며, 절지저항의 거의 90%가 대지저항율에 의해 정해진다.

절지전극의 절지저항은 다음과으로 구할수 있다.

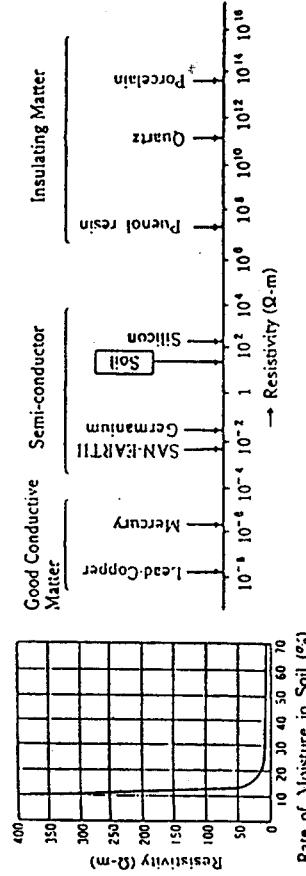
$$R = \rho \times F \quad \text{단, } R = \text{절지저항 } (\Omega) \quad \rho = \text{대지저항율 } (\Omega \cdot \text{m})$$

$F = \text{형상 및 치수 } [\text{m}]$   
즉, 절지저항은 대지저항율과 절지선의 배열과 크기에 따라 변화되므로 절지방법을 결정하기전에 절지장소의 대지 저항율을 아는 것이 매우 중요하다.

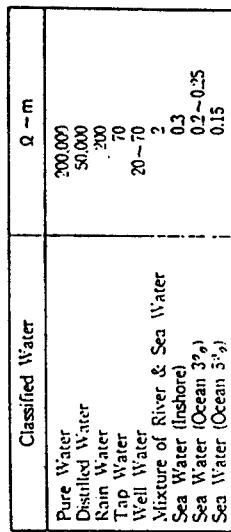
#### 4. 대지저항율

대지저항율은 대지저항도, 토양의 온도, 토질, 계절, 수질에 따라 다이나므로 계산에 의한 정확한 절지저항값을 얻는다는 것은 무리이므로 현지 여건을 감안, 설계상 참고치로 적용하고 보다 더 정확한 근사값을 얻기 위해서는 실측치에 의할수밖에 없다.

#### 1) 대지저항 저항



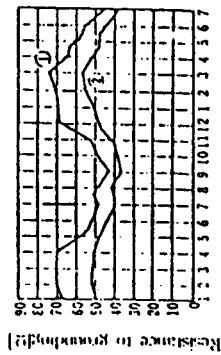
<표 1> : Rating of Resistivities of Various Substances  
(그림 7) Rate of Moisture in Soil Vs Specific Resistance



<표 2> Rate of Moisture in Soil

Class of Soil	Ω · m	Resistivity Ω · m
Paddy or Clay and Swamps	200,000	10~150
Farmland of Clay	50,000	10~200
Seaside Sandy Soil	200	50~100
Paddy or Farmland with Gravel Stratum	20~70	100~1,000
Mountains	2	200~2,000
Gravel, Pebble Seashore or Parched River Bed	0.3	1,000~5,000
Rocky Mountains	0.15	2,000~5,000
Sandstone or Rocky Zone	0.15	10~10 <sup>3</sup>

<표 3> : Classes of Soil and Resistivity



Time in Months

## &lt;그림 8&gt; : Grounding Resistance and the Seasons

Classification	Resistivity, $\rho$ - $\Omega \cdot m$	Features
Low Resistivity Zone	$\rho < 100$	Lowlands at the mouths of rivers or by the sea. Usually abundant in water.
Medium Resistivity Zone	$100 \leq \rho < 1,000$	Midland plains where ground water is not so difficult to obtain.
High Resistivity Zone	$1,000 \leq \rho$	Hilly zones: piedmont districts and high lands where drainage is good.

&lt;표 4&gt; : Classification of Soil Resistivity

## 2) 대지와 온도와 토질에 따른 저항

- 3) 계절별 철자 저항 변화 (Fig 12)
- 4) 대지 저항의 분류 (Fig. 9)
- 5) 수질에 따른 저항율 (Table. 10)
- a) 철자선의 저기의 계산
- 철자선의 저기를 결정하는 경우는 기계적 강도, 내식성 및 전류용량의 3개 요소에 중점을 두고 정하고 있으며, 철자선은 IV 전선 이상의 것을 사용하는 것을 원칙으로 내선 규정에 정해 있다.
- b) 철자선의 온도상승 : 철자선에 단시간에 전류가 흐르면 때 온도 상승을 보통 다음과으로 계산된다.
- $$\theta = 0.008 \left( \frac{I}{A} \right)^2 t$$
- 단,  $\theta$  : 철자선의 온도상승 (  $^{\circ}\text{C}$  ),  $I$  = 전류 ( A )  
 $A$  : 단면적 (  $\text{mm}^2$  ),  $t$  = 통전시간 ( 초 )
- c) 계산조건 : 철자선의 저기자를 결정하기 위한 조건은 다음과 같다.
- i) 철자선에 흐르는 고장전류의 값은 전원측 파전류 차단기 정격전류의 20배로 한다.
- ii) 파전류 차단기는 정격전류의 20배 전류에서 0.1초내에 끊어지는 것으로 한다.
- iii) 고장전류가 흐르기전의 철자선 온도는  $30^{\circ}\text{C}$ 로 한다.
- iv) 고장전류가 흐르면 때 철자선의 저용온도는  $150^{\circ}\text{C}$ 로 한다.
- 따라서 허용온도상승은  $120^{\circ}\text{C}$ 가 된다.
- d) 계산의 실례

&lt;표 2&gt; : Soil Temperature Vs Resistivity

$$120 = 0.008 \left( \frac{20 I_m}{A} \right)^2 \times 0.1 \quad A = 0.052 \text{ In}$$

단, In : 파전류 차단기의 정격전류



### 2). 철자 방식과 특징

Type of Earth Electrode	Practice & Description	Ground Resistivity	Grounding Area	Time Agency	Feature	Economic- cality
Bar Electrode (Driving Method)	A metal bar or an angle bar to be driven into the ground. A simple practice for the ground of low resistivity.	Low	Small	O		
Burned Earth Plate	A metal plate to be buried in the ground horizontally or vertically. A general practice for lightning protection.	Low	Medium	△		
Deep Land Electrode (Boring Method)	An electrode to be inserted into a mechanically bored hole, 4 in & cm dia. The gap between hole and electrode to be filled with Bentonite or acrylamide. Recommendable few places with high resistance to earth or limited space for grounding.	High	Small	+	X	
Counterpoise	A conductor to be laid horizontally in the ground. Possible to provide grounding when obstacles like rocks are found. Also suitable for ground that requires consideration for earth potential gradient.	Medium	Medium	L	O	
Mesh Ground	A conductor to be laid horizontally in the ground in a form of mesh. Suitable to make smaller the earth potential gradient in the premises.	Medium	Large	△		
Conductive Concrete Strip	A mixture of Mortar and cement harlener to be spread around the conductor placed in an excavation. The conductor and conductive cement solidly into an earth electrode. Suitable for any places, not in mention those in mountain ranges where resistance to earth is very high.	High	Medium	○		
Resistance To Earth Reduction Method (In Joint Use With Reduction Agent)	Something like electrolytic agent to be filled around the earth electrode buried in the ground. Effective for grounding at a site where it is difficult to secure a low resistance to earth as required even by the driving method.	High	Small	X	O	

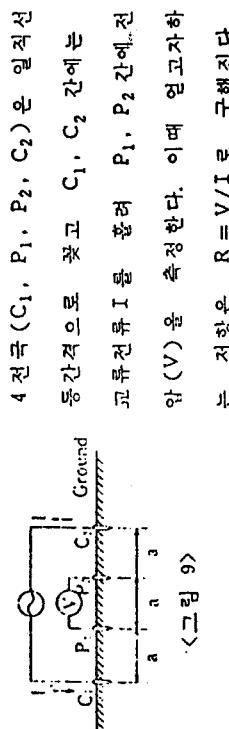
1. The degree of ground resistivity obtainable with the practice in respective columns.  
2. Area required for grounding  
3. Time Agency & Economicality

O Excellent    △ Fine    X To be reconsidered    X Unrecommendable

4. The comparison in the above table is based, not on a particular place nor a particular resistance to earth value, but on a general grounding condition.

### 마. 철자 측정 및 측정

#### 1) 대지 고유 저항 측정방법 (Wenner의 4 전극법)



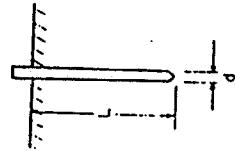
접지 저항 측정기에 의해 접지 저항  $R$  을 얻었을 때는 대지 고유 저  
항을 다음식으로 구할 수 있다.

$$\rho = 2 \pi a R (\Omega \cdot m) \text{ 단, } R = \text{접지저항값} (\Omega \cdot m),$$

$$a = \text{전극간의 거리} (m)$$

<전극 깊이  $d$  를  $a$  의  $1/20$  로 할 때 >

#### 2) 접지봉 1개 시 접지 저항

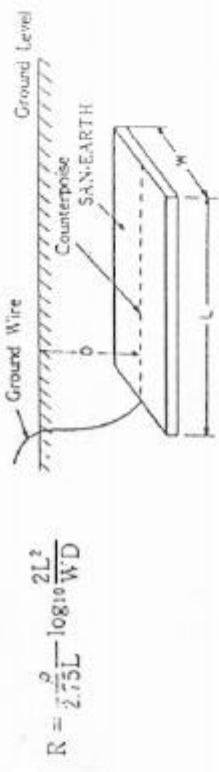


$$R = \frac{\rho}{275L} \log_{10} \frac{4L}{d}$$

<그림 10>



3) 저장세사용시 접지저항 (SAN-EARTH)



4) Counterpoise A) 접지저항

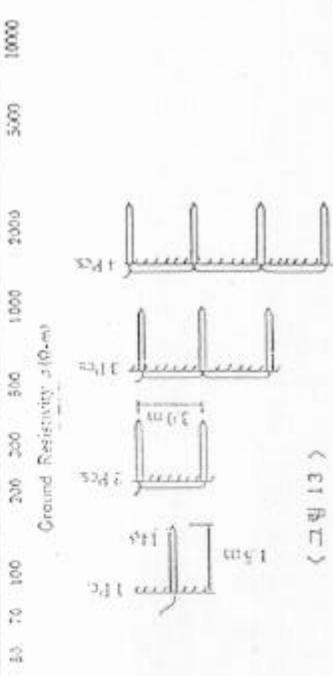
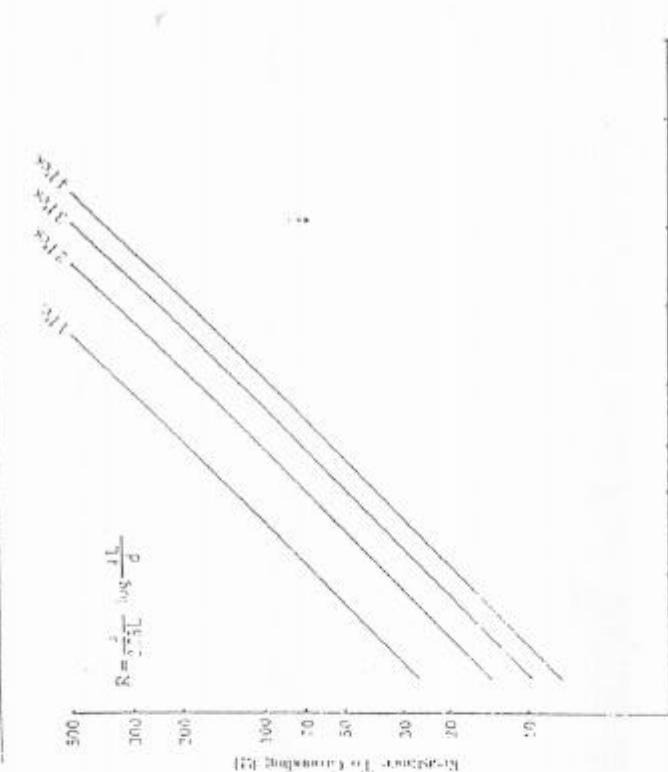
$$R = \frac{\rho}{2.75L} \log_{10} \frac{L^2}{dD}$$



<그림 11>

7) 접지용 사용 A)

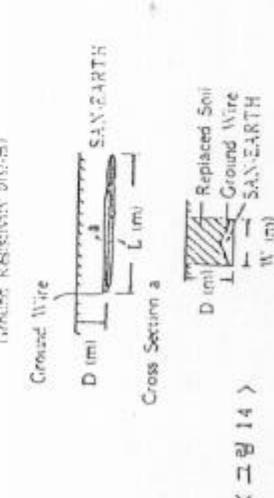
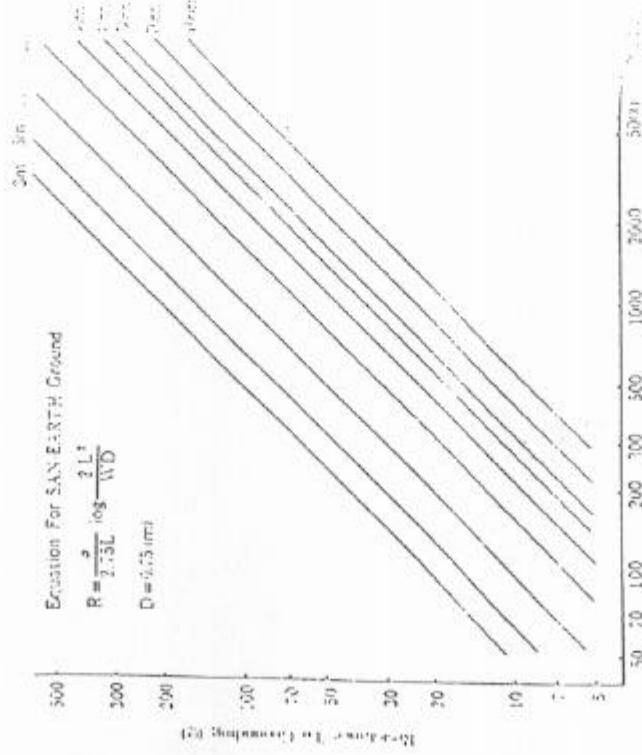
Graph 1.  $\rho$ -R Curve For Bar Electrode Ground



<그림 13>



4) 저감전 사용시  
Graph 2:  $\rho$ -R Curve For SAN-EARTH Ground



2) Counter poise 터널  
Graph 3:  $\rho$ -R Curve For Counterpoise Ground

