KAERI/TR-2619/03

技術報告書

SMART 디지털 계측제어계통 전자파 장애 대책

Electromagnetic Interference Counterplan for SMART Digital Instrumentation and Control System

KAERI

韓 國 原 子 力 硏 究 所

제 출 문

한국원자력연구소장 귀하

이 보고서를 2003년도 기술보고서로 제출합니다.
제 목 : SMART 디지털 계측제어계통 전자파 장애 대책

2003년 11월 10 일

과제명 : 일체형원자로 MMI 설계기술개발

주저자 : 이준구

공저자 : 박희윤
구인수

요 약

최근 전자, 컴퓨터, 정보통신의 첨단 공학 발달로 계측제어 시스템은 혁신적으로 발전하고 있다. 신 기술의 도입에 보수적인 원자력 관련 계측제어 시스템도 예외는 아니다. 현대의 계측제어 시스템은 고도의 컴퓨터 기술, 통신 기술, 제어 기술이 조화롭게 집적된 고도의 시스템 기술을 적용하는 추세에 있다.

원자력 플랜트에 장착될 장비들은 플랜트의 환경에서 정상적으로 동작하여 기본 기능 및 성능을 발휘하여야 한다. 원자력 플랜트의 아나로그 장비들은 일부 디지털 장비로 교체되어 사용되고 있으며, 산업계에서는 이미 빠른 정보처리와 대용량의 계산이 가능한 디지털 장비로 교체하여 큰 성과를 거두고 있다. 디지털 장비의 이러한 장점에도 불구하고, 원자력 플랜트 환경에서 전자파에 대한 건전성을 갖고, 제어계통 본래의 기능을 수행함을 확인하기 위해 전자파 기기검증이 이루어져야 한다.

전자파 기기검증을 위해서는 설계자들은 디지털 계측제어계통을 전자파 내성(EMC)을 고려하여 설계하여야 하고, 관련 규격에 따라 시험을 해야 한다. 원자력 플랜트의 전자파 규격인 Reg. Guide 1.180은 IEEE-STD-518, 665, 1050의 전자파를 고려한 설계와 MIL 규격 및 IEC 규격에 따라 장비의 전자파 시험을 하도록 권고한다.

따라서 원자력 플랜트 전자파 규격을 만족하는 장비를 설계하기 위하여, 소자, 보드, 랙, 캐비넷 단위의 전자파 장애 대책과 디지털 장비 설치시의 전자파 장애 대책을 기술한다. 대책 기술로는 IEEE-STD-518, 665, 1050을 근거로 해서 접지, 차폐, 필터링과 함께 케이블링, 접속등에 대하여 기술한다.

위의 전자파 장애 대책기술의 연구결과는 SMART 및 디지털 장비들의 평가자료로 활용할 예정이다.

Abstract

Due to development of electronics, computer and information communication engineering, instrumentation and control system is developing to innovative improvement.

High integrated system technologies of computer, communication and control are applied to Modern I&C system. But conservative I&C system related to nuclear power plant is currently introducing the new technique. Industrial analog equipment have already been replaced with digital equipment but Some analog equipment is recently changing to digital equipment in a nuclear power plant

It is very important for unclear power plant digital I&C system to act to designed functions and performance under the environment during a life cycle. In spite of merit of digital equipment, it is necessary for digital I&C system to be confirmed to operate functionally under the electromagnetic environment and to obtain electromagnetic environment qualification

To overcome electromagnetic interference, designers should consider the electromagnetic compatibility about digital I&C system and test the digital I&C system according to Regulatory Guide 1.180 or EPRI-TR-102323. Regulatory Guide 1.180 endorsed IEEE-STD-518, 665, 1050 covering EMC design and test procedure and applied limit according to MIL-STD-461C/D

To design nuclear power plant digital I&C system conform to EMI regulatory guide, when device, board, rack and cabinet of I&C system are designed and installed, designer should consider EMI counterpart technique. EMI counterpart technique based on IEEE-STD-518, 665, 1050 is specified about grounding, shielding, filtering, cabling and bonding

Research result of EMI counterpart technique is supposed to be used as evaluation data of SMART digital I&C system

목 차

요약 iii
Abstract v
그림목차.....vi
표 목차 vi

제 1 장 서론 1
제 1 절 목적 및 배경.....1
제 2 절 구성.....2
제 2 장 디지털 장비(equipment) 및 발생 잡음.....3
제 1 절 디지털 장비의 특성.....3
제 2 절 SMART 디지털 계측제어계통.....4
제 3 절 주요 잡음 발생장비 및 잡음 종류.....6
제 3 장 원자력 플랜트 전자파 요건.....8
제 4 장 전자파 장애 대책 기술 10
제 1 절 접지(grounding).....10
제 2 절 차폐(shielding).....20
제 3 절 필터링(filtering).....31
제 4 절 잡음결합경로차단방법.....34
제 5 절 접속(bonding).....36
제 5 장 SMART EMI 대책.....41
제 6 장 결론.....45

참고 문헌 46

그림 목차

그림 1 캐비넷 밀집시, 단일점 접지(저주파수인 경우).....14
그림 2 캐비넷 산재시, 단일점 접지(저주파수인 경우).....14
그림 3 다중점 접지(고주파수의 경우).....15
그림 4 캐비넷 산재시의 다중점 접지(저주파수의 경우).....16
그림 5 Floating 접지.....17
그림 6 전자 장비 차폐.....20
그림 7 도파관.....22
그림 8 금속구조물 두께에 따른 체결나사 간격.....23
그림 9 EMI 개스킷 종류(I).....24
그림 10 EMI 개스킷 종류(II).....24
그림 11 개스킷 설치 방법(I)-홈(Groove) 작업 부위.....25
그림 12 개스킷 설치 방법(II)-볼트 체결부 25
그림 13 개스킷 설치 방법(III)-도어.....26
그림 14 개스킷 설치 방법(IV)-방습처리.....26
그림 15 벌집형 통풍구(Honey Comb Vent).....27
그림 16 투시창 설치방법.....28
그림 17 접속 스트랩(Type IV).....37
그림 18 간접 접속(Class B)방법.....38
그림 19 간접 접속(Class C)방법.....38
그림 20 케이블 커넥터 접속방법.....39
그림 21 도관 접속 방법.....40

표 목차

표 1 원자력 플랜트 EMC 관련 설계 규격(추후 관련 규격 추가).....9

제 1 장 서론

제 1 절 배경 및 목적

1. 배경

최근 재료공학, 전자공학, 컴퓨터공학 등 첨단 학문의 발달로 계측제어 시스템은 혁신적으로 발전하고 있다. 신 기술의 도입에 보수적인 원자력 관련 계측제어 시스템도 예외는 아니다. 현대의 계측제어 시스템은 고도의 컴퓨터 기술, 통신 기술, 제어 기술, 감시 기술 그리고 이들 기술이 조화롭게 집적된 고도의 시스템 기술을 적용하는 추세에 있다.

원자력 플랜트에 장착될 장비들은 플랜트의 환경에서 정상적으로 동작하여 기본 기능 및 성능을 발휘하여야 한다. 원자력 플랜트의 아나로그 장비들은 일부 디지털 장비로 교체되어 사용되어 사용되고 있으며, 산업계에서는 이미 빠른 정보처리와 대용량의 계산이 가능한 디지털 장비로 교체하여 큰 성과를 거두고 있다.

디지털 장비는 이미 언급한 바와 같은 장점을 가지고 있으나, 플랜트에 장착하기 위해서는 기기검증이 이루어져야 하며, 무엇보다도 높은 주파수 및 낮은 동작전압 때문에 전자파에 매우 취약하다. 따라서 디지털 계측제어계통은 플랜트 환경에서 전자파에 대한 건전성을 갖도록 계측제어계통 설계시나 원자력 플랜트에 설치시 전자파로 오동작 또는 고장이 발생하지 않도록 대책을 세워 적용하는 것이 중요하다.

2. 목적

원자력 플랜트의 환경에서 디지털 계측제어계통 설계자들은 전자파 내성(electromagnetic compatibility)을 고려하여 설계하여야 하고, 전자파 관련 규격에 따라 시험을 해야 한다. 원자력 플랜트 장비의 전자파 규격인 Reg. Guide 1.180은 IEEE-STD-518, 665, 1050을 고려한 설계와 MIL 규격 및 IEC 규격에 따라 장비의 전자파 시험을 하도록 권고한다.

본 보고서는 전자파 장애에 대한 디지털 계측제어계통 설계시 대책을 제공하는데 목적이 있다. 디지털 기기들의 전원선, 신호선, 차폐선 접지와 내, 외부의 방사성 잡음으로부터 장비를 보호하기 위한 차폐기술등을 다룬다.

제 2 절 구성

1. 구성

본 보고서에서는 디지털 장비의 특성과 원자력 플랜트의 잡음 발생 장비 및 잡음 종류에 대하여 디지털 장비의 EMC 설계를 위한 기술에 대하여 집중 조명하였다.

제 2장에서는 전자파 장애의 원인이 되는 디지털 장비의 전기, 물리, 환경적인 특성과 계측제어 계통내에 장착될 디지털 장비들의 구성, 현재 밝혀진 주요 잡음 발생장비와 이에 발생하는 잡음종류에 대하여 분석한다.

제 3장에서는 원자력 플랜트의 장비들에 대한 전자파 규격을 알아보고, 전자파 장애 대책기술을 설명한 EMC 규격에 대하여 기술한다.

제 4장에서는 광범위하게 사용되는 접지, 차폐, 필터링, 케이블링, 접속등의 전자파 장애 대책기술을 분석한다. 제 1절에서는 접지대상에 따라 장비 접지, 신호 접지, 차폐선 접지, 전원선 접지로 분류하여 기기실 및 제어실 상황에 맞는 접지 방법을 선택하도록 하였고, 그 외 주요기기 및 도관과 케이블 트레이 접지에 대하여 분석한다. 제 2절에서는 장비의 차폐와 이음새 및 구멍의 차폐처리, 차폐 처리재 및 기술에 대하여 상세히 설명한다. 제 3절에서는 전원선이나 신호선등을 경유하여 유입되는 잡음을 제거하기 위한 필터와 주파수 및 사용용도에 따른 필터의 종류로 나눈다. 제 4절에서는 잡음의 발생을 최소화하고, 잡음의 경로를 차단하기 위한 임피던스 결합, 용량성 결합, 유도성 결합, 복사 결합의 차단방법 및 공통 모드 잡음 저감기술을 설명한다. 제 5절에서는 금속접합면의 접속(Bonding)기술에 대하여 기술한다.

그리고 제 5장에서는 SMART 계측제어계통의 EMI 대책에 대하여 설명한다.

제 2 장 디지털 장비 및 발생 잡음

디지털 장비는 대체적으로 마이크로 프로세서를 기반으로 구성되며 아나로그 장비와는 전기, 물리, 환경적인 측면에서 다른 양상을 보인다. 이 장에서는 디지털 장비의 특성을 파악하고, 디지털 장비에서 발생되는 주요 잡음원 및 잡음의 특징에 대하여 기술한다.

제 1 절 디지털 장비(equipment)의 특성

1. 전기적 특성

디지털 기기는 마이크로 프로세서를 포함한 보드, 메모리, 입/출력 카드, 통신 카드등으로 구성되며, 빠른 정보처리라는 장점을 가지고 있으나 낮은 구동전압과 함께 빠른 동작 주파수로 작동하는 특성을 가지고 있다.

낮은 구동전압 및 신호처리의 특성은 디지털 장비 자체와 외부 장비에서 발생되는 잡음에 대하여 취약성을 갖게 된다. 따라서 아나로그로 구성되는 계측제어계통보다 디지털 기기로 구성되는 디지털 계측제어계통은 전자파나 전기적 왜란에 더욱 더 취약하다.

이러한 이유로 디지털 기기에 대한 전자파 내성 분석이 요구되고 있다.

2. 물리적 특성

디지털 소자 및 기기류의 견고한 조립과 구조는 디지털 기기에 전해지는 진동에 강할 것으로 예상되며, 우려되는 사항은 진동에 의한 접착부 손상이다. 그러나 원자력 플랜트에서 발생되는 진동은 대개 5~2000Hz정도의 낮은 주파수로서 전선 접착물을 심하게 여기시키는 데 필요한 주파수 범위보다는 낮다.

3. 환경적 특성

온도는 디지털기기의 고장을 유발하는 가장 중요한 요소의 하나이다. 온도는 단락과 단선 모두를 발생시킬 수 있다. 그러나 대부분의 온도로 인한 고장은 운전 허용범위내의 온도변동에 의해서라기 보다는 장기간의 높은 온도로 인하여 발생된다. 디지털기기가 온화환경(Mild Environment)중 가장 조건이 나쁜 스위치기어 설치장소나 케이블 설치장소등에서의 온도를 최대 40。C로 가정하였을 때 최대 고장율 증가는 10% 이내로 추정된다.

습도는 부식을 초래하는 가장 중요한 인자이다. 부식은 일반적으로 미세회로의

단선을 야기한다. 부식의 진행은 매우 복잡한 모델로 표현되는데 온도와 습도가 주 영향인자이다. 24。C, 100%의 습도에서는 부식에 의한 고장발생시간이 4.63배 정도로 빨라진다.

방사능은 디지털장비에 대하여 여러 영향을 끼친다. 누적방사능에 의한 성능감소, 이온화 방사능에 의한 메모리 혹은 플립플롭의 비트오차, 집적회로의 Latch-up 등이 일어난다. 그러나 디지털 기기가 설치되는 온화환경에서의 이온화 방사능은 미미할 것으로 기대된다. 기기가 수명동안 받게되는 누적방사능의 양이 문제가 될 수 있다. 집적회로를 포함하는 디지털장비는 아날로그 장비보다 방사능에 대한 내성에 있어서 심각한 취약성을 보인다. 발전소의 60년 수명동안 온화환경에서의 총 누적방사능은 10^3rad이하로 설계될 것이다. 이 경우 대부분의 집적회로 소자의 방사선 내성강도는 위의 값보다 크지만 일부 CMOS(10^3~10^5)와 NMOS(5×10^2~10^4)의 경우에는 발전소 전 수명동안의 동작을 100% 보장할 수는 없다. 따라서, 발전소의 수명기간중에 노후화 등으로 인하여 새 장비로 교체되지 않는다면 수명후반기에는 누적방사능에 의한 고장이 발생할 가능성이 있다.

마이크로 프로세서로 구성된 장비의 사용이 증대됨으로서 제기되는 환경인자중 하나가 화재발생으로 인한 연기의 유입이다. 디지털장비의 연기에 대한 취약성을 여러 가지 연구결과로 확인되고 있다. 특히 디지털 시스템간의 통신에 장애를 일으킬 수 있다.

제 2 절 SMART 디지털 계측제어계통

디지털 계측제어계통을 구성하는 각각의 세부계통들은 캐비넷, 전자장비, 정보처리기, 화면 표시기 등으로 구성된다.

캐비넷 및 전자장비는 수백 MHz의 클럭주파수로 동작하는 마이크로 프로세서, 메모리, 보드, 입출력카드, 통신카드등으로 구성된다. 각 세부계통을 구성하는 캐비넷 및 전자장비는 다음과 같다.

1. 정보처리계통

정보처리계통은 원자력 플랜트 운전상태 감시에 필요한 안전관련 변수를 처리한다.

- 디지털정보처리계통 캐비넷
- 디지털정보처리계통 전자장비

2. 경보 및 지시계통

디지털 경보 및 지시계통은 비정상상태에 경보를 발생하고, 각 운전모드별 주요운전변수를 지시한다.

- 디지털경보 및 지시계통 캐비넷
- 디지털경보 및 지시계통 화면표시기

3. 제어계통

디지털 제어계통은 원자력 플랜트의 출력과 관계된 계통을 제어하며 일,이차 계통의 각 공정제어기능을 수행하고, 이와 관련된 기기제어계통의 제어봉 구동장치, 모터, 펌프, 밸브등을 제어하는 비안전계통이다.

- 디지털제어계통 캐비넷
- 디지털제어계통 전자장비

4. 보호계통

디지털 보호계통은 원자력 플랜트의 안전에 직접적인 영향을 미치는 안전계통이다.

- 디지털보호계통 캐비넷
- 디지털보호계통 전자장비

5. 공정 및 핵계측계통

공정 및 핵계측계통은 원자력 플랜트내의 물리적인 대상을 측정하며, 이에 원자력 플랜트의 안전과 관련된 안전계통 공정 및 핵계측계통과 비안전계통 공정 및 핵계측계통이 있다.

- 공정 및 핵계측계통 캐비넷
- 공정 및 핵계측계통 전자장비

6. 자료통신계통

자료통신계통은 디지털 계측제어계통전반에 걸친 안전 및 비안전 변수를 다루며 안전통신망과 비안전통신망이 있다.

- 자료통신계통 캐비넷
- 자료통신계통 전자장비

7. 제어반

원자력 플랜트 운전상태감시와 제어를 수행하는데 필요한 표시기와 표시처리기가 장착된다.

원자력 플랜트의 경우 제어기기실에는 많은 캐비넷 및 전자장비들이 밀접히 위치하고, 각각의 캐비넷 및 전자 장비들의 신호선들과 전원선등의 케이블들이 배열이 매우 복잡하다.

제 3 절 주요 잡음 발생 장비 및 잡음 종류

잡음은 전파 경로에 따라 분류하면 공간에 전파되는 복사성 잡음과 신호선이나 전원선등을 통해 전파되는 전도성 잡음이 있다. 복사성 잡음이나 전도성 잡음은 전파 경로를 따라 복사성 잡음에서 전도성 잡음으로, 전도성 잡음에서 복사성 잡음으로의 전환이 가능하다.

특히 제어기기실과 같은 좁은 공간에서는 복사성 잡음의 영향이 매우 커진다. 디지털 계측제어계통의 EMC 대책을 세우기 위해서는 잡음을 발생하는 장비와 이에 대한 피해를 받는 장비의 파악은 중요하다. 원자력 플랜트 내부의 예상 잡음원은 다음과 같다.

1. 고전압 스위칭 장비

고전압의 AC/DC, DC/AC, AC/AC 변환장비들이 사용되며, 이런 장비들은 스위칭 주파수의 강한 잡음을 발생시킨다. 잡음의 주파수는 스위칭 주파수와 동일하게 발생되며 대략 수십 kHz가 된다.

2. CBS(Capacitor Bank Switching) 장비
3. CCVT(Coupling Capacitor Voltage Transformer)
4. GIS(Gas insulated switchgear)
5. 변류기(Current Transformer)
6. 회전기기

전동기, 발전기의 내부의 슬롯등에서 회전으로 인한 전기적 잡음이 발생한다.

7. 싸이리스터

싸이리스터는 전류로 제어하는 스위치로서 전원공급장치에 사용된다. 이 또한 일반 스위치와 마찬가지로 큰 에너지를 갖는 잡음이 발생되며 잡음의 주파수는 대략 수십 kHz의 잡음을 발생시킨다.

8. 컴퓨터 장비

컴퓨터는 마이크로 프로세서 및 메모리, 그 주변장치들로 구성되며 일반적인 장비보다도 높은 주파수의 잡음을 발생시킨다.

-마이크로 프로세서, 메모리 보드는 클럭 주파수에 의한 수백 MHz의 잡음 발생

-CRT는 10~20MHz의 잡음 발생

-디스크 드라이버, 플로피디스트 드라이버는 400kHz~2MHz의 잡음을 발생시키고, 하드디스크 드라이버의 경우 1~10MHz의 잡음 발생

-스위칭전압공급장치는 수십 kHz의 잡음 발생

위의 장비들은 주변 장비들로 전자파 간섭을 일으킬 수 있으므로, 잡음발생장비의 차폐가 필요하고, 이에 근접한 주변장비도 잡음에 대한 차폐 및 필터링이 이루어져야 한다.

발생된 잡음은 공간으로 복사성 잡음이 전파되어 타 장비에 전자파 간섭을 야기하고 또한 전도성 잡음은 신호선이나 전원선을 따라 연결된 타 장비에 전파되어 전자파 간섭을 야기한다. 따라서 전도성 또는 복사성 잡음에 의한 장애를 최소화하기 위해 본 보고서의 전자파 장애 대책 기술을 적용해야 한다.

제 3장 원자력 플랜트 전자파 요건

전자파는 전자장비에 영향을 주는 환경으로 고려되며, 기존의 원자력 플랜트내의 아나로그 장비는 고유의 전자파 내성의 특징을 가지므로 원자력 플랜트의 계측제어계통에 대한 전자파 검증을 수행하지 않았다.

그러나, 1970년대 ABB-CE는 ANO-2 발전소에 노심보호 계산기의 설치를 위해 전자파 검증을 군사 규격인 MIL-STD-461A에 따라 수행하였다. 최근의 노후 계측제어계통 교체시 적용되는 관례는 교체 디지털 장비를 사업자가 설치장소의 잡음수준에서의 전자파 내성을 충족하는 것을 제시하여, 규제기관은 제출된 검증보고서를 검토 및 승인하여 사안별로 처리한다.

디지털 장비의 원자력 플랜트 적용 추세로 인한 전자파 장애에 대한 규제입장과 규제기준의 필요에 따라, NRC는 원전내의 전자파 환경과 전자파 내성을 확보하기 위하여 적용할 수 있는 다음의 기준을 제시한다.

첫째, Reg. Guide 1.180을 전자파에 관한 시험기준으로 정하고, 전자파에 관한 검증은 MIL-STD-461C/D, 서지내성에 관한 검증은 IEEE C62.41에 따라 시험을 하는 것을 제시한다.
둘째, EPRI-TR-102323을 전자파에 관한 시험기준으로 정하는 것이다.

EPRI-TR-102323은 미 전력연구소 EPRI가 미국의 대표적인 원자력 플랜트의 전자파 방사수준들을 조사평가하고, 원자력 플랜트내에 설치될 안전계통 장비을 위한 전자파 간섭 및 내성시험의 기준을 정하였다. 주요 내용은 미국의 원자력 플랜트 전자파 조사를 근거로 하여 광범위하게 원자력 플랜트에 사용할 수 있는 전자파 시험기준을 정한 것이다.

결과적으로 원자력 플랜트에 적용할 수 있는 전자파 검증 기준은 두 가지이며, 첫째는 Reg. Guide1.180을 적용하는 것이고, 둘째는 EPRI-TR-102323을 적용하는 것이다.

원자력 플랜트 환경에서의 디지털 계측제어계통은 제약된 공간에 다수의 캐비넷

및 전자장비가 배치될 것이며, 또한 전자파 내성이 취약한 디지털 기기의 사용으로 인해 디지털 계측제어계통의 전자파 내성분석이 반드시 필요하다. 현재, 디지털 계측제어계통 설계시 고려할 설계규격은 표 1과 같은 규격이 있다. 표 1.의 IEEE-STD-518, 665, 1050은 원자력 규제지침 Reg. Guide 1.180에 의하여 EMC 방안으로서 승인된 문서이며, 그 외의 IEEE 문서는 인용된 문서이다.

표 1. 원자력 플랜트 EMC 관련 설계 규격

접지(grounding)	차폐(shielding)	필터링(filtering)	그밖의 잡음 최소화기법
IEEE-STD-665 IEEE-STD-142 IEEE-STD-518 IEEE-STD-1100 IEEE-STD-1050	IEEE-STD-1050 IEEE-STD-518 IEEE-STD-665	IEEE-STD-1050 IEEE-STD-518 IEEE-STD-665	IEEE-STD-518 IEEE-STD-665

제 4 장 전자파 장애 대책 기술

원자력 플랜트 디지털 계측제어계통의 전자파 장애를 최소화하기 위한 설계시 전자파 간섭에 대한 대책으로서 캐비넷 및 전자장비 접지, 잡음 필터특성 및 설치 위치, 캐비넷 및 전자장비 외함 차폐와 케이블 차폐선 접지, 각종 장비 케이블의 EMC를 고려한 적절한 케이블링, 접속, 잡음 저감 기술 및 장비사용을 기술한다.

전자파에 대한 대책은 원자력 플랜트의 안전계통뿐만 아니라 비안전계통에도 적용되어 설계한다. 따라서 모든 디지털 계측제어계통은 기본적으로 전자파에 대한 내성을 갖도록 설계 제작되어야 한다.

제 1 절 접지(grounding)

원자력 플랜트내의 계측제어계통은 단일점 접지와 다중점 접지를 혼합한 혼성접지개념을 적용한다. 접지 계통은 DC에서 고주파수까지 연속적인 영전위가 되도록 유지하고, 접지선 간에 루프가 형성되지 않도록 설계한다. 접지시 기본적으로 다음의 사항에 유의하여 수행한다.

- 고전압의 과도 현상발생동안에도 계통내에 안전한 전압을 유지한다.
- 저임피던스 접지로 누설전류(leakage current)의 경로를 제공한다.
- 장비에 축적될 모든 정전하에 대한 저 임피던스 누설 경로를 제공한다.
- 소자, 회로, 계통들사이에 상대적으로 낮은 임피던스의 공통 신호 기준을 제공하여 계측계통에서의 잡음 간섭을 최소화한다.

원자력 플랜트 기기실 및 제어실 내부의 각 캐비넷 및 전자장비는 접지되어야 하고, 접지는 접지하고자 하는 접지 대상에 따라 다음과 같이 네 가지의 종류로 분류된다.

- 장비 접지

계통내에 속하는 캐비넷, 랙, 전자장비의 외함을 접지하며, 접지선은 연속적이고, 차폐된 도선이어야 한다.

- 신호 접지

캐비넷 및 각 전자장비의 신호, 통신카드간에는 신호 및 정보의 교환이 발생하고, 이러한 회로의 접지는 장비접지와는 별개의 접지를 한다. 신호접지는 주파수와 장비간의 이격거리를 고려하여 단일점접지 또는 다중점 접지를 한다.
광통신 기술의 발달으로 이러한 신호선을 외부의 전자파에 강한 내성을 갖는 광통신 케이블의 사용을 권장한다.

- 차폐선 접지

신호선이 외부로부터의 전자파를 차폐하기 위한 케이블일 경우, 차폐선은 발생된 잡음전류의 경로를 만들어 주기 위해 접지가 되어야 한다. 제어기기실에서는 산재한 캐비넷 및 전자장비의 케이블 차폐선을 하나의 접지에 묶는 것은 불가능하므로 근접한 차폐선들만을 하나로 묶는 중앙배치 프레임접지(Central Distributed Frame Grounding)를 하도록 한다.

- 전원선 접지

전원접지선은 전원인입선과 함께 인입되어 장비접지선과 연결되며, 전원접지선은 원자력 플랜트 접지망에 연결한다.

계측제어계통의 접지를 요약하면 캐비넷에 결선된 케이블의 차폐선 접지선 또는 버스는 캐비넷과 전기적으로 격리하여, 차폐선 접지 격자(Shield Ground Grid)에 연결한다. 전원접지버스(Power Ground Bus)는 캐비넷 구조물에 연결해야 하고(캐비넷 접지) 다시 장비접지버스(Equipment Ground Bus)에 연결해야 한다.

각 캐비넷에 하나의 계통신호 기준선(System Reference Bus)이 제공되어 공통신호를 사용하는 캐비넷들 간의 결선에 사용해야 한다. 계통신호 기준선은 현장기기, 차폐선 접지와 연결되지 않아야 한다. 각 접지에 대한 세세한 사항은 다음과 같다.

1. 장비 접지

장비접지의 목적은 원자력 플랜트 제어실의 전자장비 및 제어기기실에서 인명 및 장비의 보호를 위해 전자파 간섭으로 인한 장비의 오동작 및 고장과 전기적 과실에 의해 위험한 전위가 발생하는 것을 막는 것이다.

장비접지는 콘솔(console), 캐비넷, 랙(Rack)등의 외함(exterior housing)을 인입전원의 접지선 또는 접지에 연결하는 것이다. 장비접지는 다음 사항을 고려하여 수행한다.

· 모든 외함들은 장비접지 케이블을 종단하는 전원접지 버스와 같은 설비가 있어야 한다. 전원접지선은 인입 전원선과 함께 제공되는 접지 도선이다.

· 장비접지 케이블을 지정된 전원접지선에 연결하고 외함과 접지사이에 단 한번의 연결을 한다.

· 장비접지 케이블은 stranded conductor를 사용하고, 부식이 심각한 위험을 초래한다면 이 도체는 절연되어야 한다. 부식성 환경에서는, 모든 접지선들의 통합성에 관한 주기적인 검사가 이루어져야 한다.

· 외함내의 모든 개개의 새시들(특히 operable sliding chassis)은 braided, insulated 스트랩들을 사용하여 기계적인 구조물에 연결하든지 또는 다른 접지 형태로 연결한다.

· 제어기기실의 장비접지는 근접한 각 캐비넷의 접지를 전원접지버스에 하나로 묶어 원자력 플랜트 접지망(station ground mat)에 단일점 접지한다.

· 각 캐비넷 및 전자장비의 접지도선 및 접지케이블은 가급적 짧게 사용한다.

2. 신호 접지

디지털 계측제어계통에서 공정계측계통 캐비넷을 거친 정보들은 자료통신망을 거쳐 각 계통에 입력변수로 제공되며, 캐비넷으로 구성된 각 세부 계통들은 캐비넷과 전자장비간에 많은 정보를 주고 받는다. 장비접지와는 별개로 이러한 신호회로들도 적절한 접지가 필요하며, 신호선들이 차폐된 선이라면 차폐선 또한 접지를 해야 한다.

원자력 플랜트내의 제약된 공간으로 인해 디지털 장비로 구성된 계측제어계통 캐비넷 간에 고주파수의 간섭이 발생될 것이다. 따라서 각 캐비넷 접지는 다중점 접지방법을 선택하여 장비접지와 신호접지를 하는 것이 적절하다.

그러나, 그밖의 저주파수로 동작되는 신호의 캐비넷 및 전자장비의 신호접지는 단일점 접지, 다중점 접지를 하고, 필요하다면 Floating을 하도록 한다. 접지는 다음과 같이 단일점 접지, 다중점 접지, floating을 나누며 고려사항은 다음과 같다.

가. 단일점 접지

단일점 접지 설계는 캐비넷 및 장비 접지(equipment ground)와 신호 접지(signal ground)를 분류하여 각각 접지한다. 각 접지들은 각각 완벽히 분리된 다른

경로로 접지버스에 연결되어야 하며 접지버스에서 원자력 플랜트 접지(station ground)로 함께 묶여져야 한다. 캐비넷 및 전자장비의 단일점 접지는 다음과 같다.

1) 단일점접지 계통은 신호회로의 접지를 접지버스의 한 점에 연결하며, 동상모드 잡음을 야기하는 접지 전류의 순환을 제거하는데 사용한다.

2) 300kHz이하의 주파수에서 동작하는 장비를 사용할 때 단일점 접지 방법을 사용한다.

3) 단일점접지 계통은 신호 파장이 장비의 외함 면적 또는 접지 케이블 길이에 근접한 고주파수에서 비효과적이므로, 고주파시에는 다중점 접지를 한다.

4) 신호접지의 목적은 계통내에서 모든 신호의 단일 기준을 잡는 것으로서, 단지 하나의 도선이 장비 외함에서 인출되어 단일 접지 기준점에 접지한다.

5) 접지선은 접지점간의 전위차를 최소화하고, 기계적인 강도를 충족할만한 두께의 치수를 갖는 절연 도선으로 한다.

6) 각 캐비넷의 신호접지는 단일 기준점에 묶여져야 하고, 계측제어계통을 위한 접지 계통을 설계할 때 다음 사항을 고려해야 한다.

가)컴퓨터와 멀티플렉스 계통의 인입전력은 단 하나의 전원(즉, 하나의 주전력 변압기)으로부터 공급되어야 한다.

나)전력 분배 새시(power distribution chassis)로의 인입선은 새시를 접지한 접지선을 따라 들어와야 하며, 접지선이 그 전력원의 기준(reference)이어야 한다.

다)전력은 전력 분배 새시로부터 개개의 차단기나 퓨즈를 통해 계통내의 모든 캐비넷들로 분배되어야 한다.

라)모든 캐비넷은 캐비넷 장비 접지와는 다른 별개의 신호접지를 가져야 한다.

마)각각의 캐비넷의 신호 접지는 단일점에 연결되고, 그것은 다시 하나의 접지 버스에 연결되어야 한다.

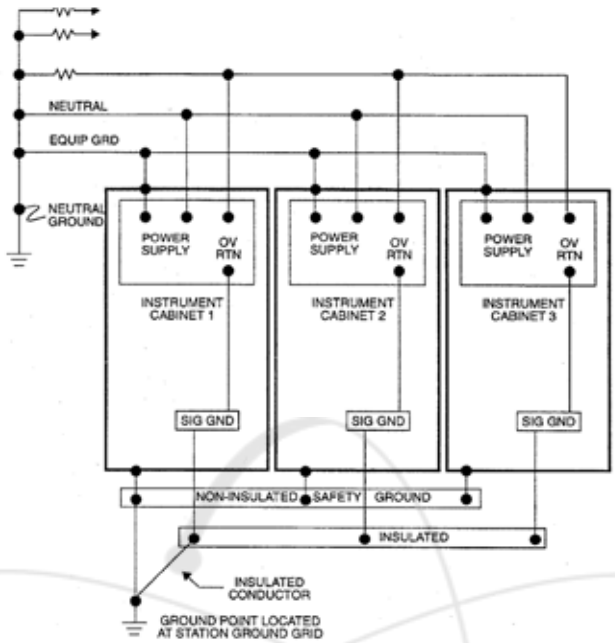


그림 1. 캐비넷 밀집시, 단일점 접지(저주파수인 경우)

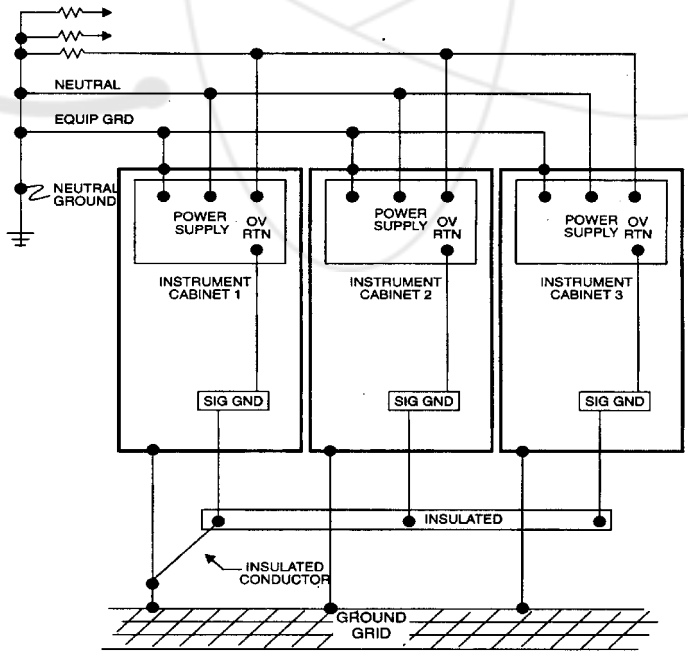


그림 2. 캐비넷 산재시, 단일점 접지(저주파수인 경우)

나. 다중점 접지(Multiple-point grounding)

300kHz이상의 주파수에서 동작하는 캐비넷이나 전자장비의 접지선은 가장 가까운 접지점에 다중점 접지를 한다(그림 3. 참조). 디지털 장비로 구성되어 수백 MHz의 고주파수 신호로 동작되는 각 계측제어계통 캐비넷 및 전자장비들은 다중점 접지를 하는 것이 적절하다. 그러나 공간적인 제약이나 다중점접지의 케이블링이 복잡할 경우 단일점 접지도 고려해야 한다.

다중점 접지는 회로의 구성이 쉬운 반면, 부식, 진동, 온도 변화에 대한 유지, 보수가 어렵고, 다중점 접지가 다중 접지 루프를 만들어내어, 의도하지 않은 동상모드 잡음을 야기할 수 있는 단점이 있다. 따라서, 신호 접지선 사이의 접지 전위차를 없애고, 발생된 동상모드 잡음의 차단이 필요하다. 다중점 접지는 그림 3.에서 보는 바와 같이 고주파수 신호인 경우에 사용하며, 접지에서 캐비넷으로 결선되는 케이블의 차폐선 접지를 위한 차폐선 접지버스는 구조물과 격리되며, 차폐선 접지 격자(Shield Ground Grid)에 연결된다. 전원접지선(Power Ground Bus)은 캐비넷 구조물에 연결되고 (캐비넷 접지) 다시 장비접지버스(Equipment Ground Bus)에 연결된다. 각 캐비넷의 공통된 신호를 사용하는 회로의 신호 접지선을 캐비넷의 장비접지에 접지한다. 신호 접지선은 현장기기, 차폐선 접지와 연결되지 않는다.

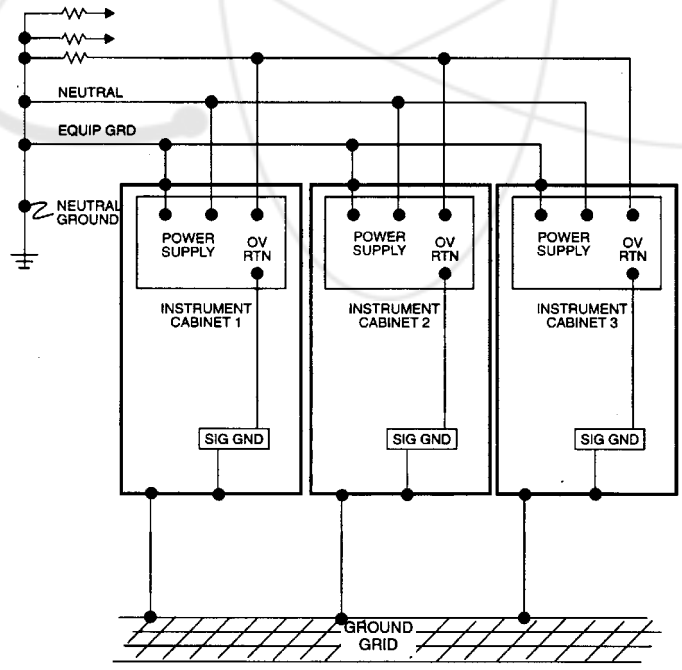


그림 3. 다중점 접지(고주파수의 경우)

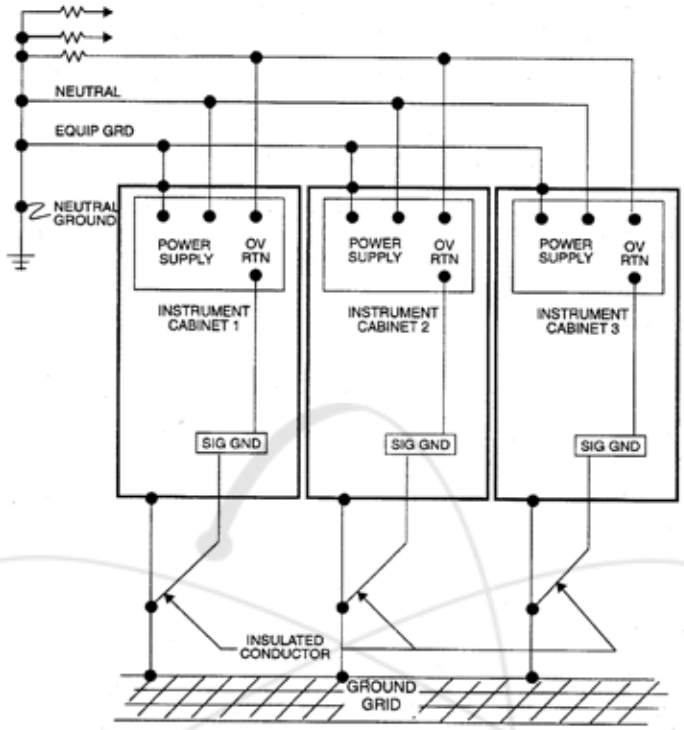


그림 4. 캐비넷 산재시의 다중점 접지(저주파수의 경우)

다. Floating

전자장비를 순환전류와 동상모드 잡음이 발생하는 공통접지판 또는 공통 배선으로부터 격리시키기 위하여, 필요시 Floating을 한다(그림 5. 참조). 캐비넷으로 결선되는 케이블의 차폐선 접지를 위한 차폐선 접지버스는 구조물과 격리되며, 차폐선 접지 격자(Shield Ground Grid)에 연결된다. 전원접지버스(Power Ground Bus)은 캐비넷 구조물에 연결되고 (캐비넷 접지) 다시 장비접지버스(Equipment Ground Bus)에 연결된다. 각 캐비넷에 하나의 계통신호 기준버스(System Reference Bus)가 제공되어 공통신호를 사용하는 캐비넷들 간의 결선에 사용된다. 이 계통신호 기준버스는 접지하지 않고 Floating 한다. 계통신호 기준선은 또한 현장기기, 차폐선 접지와 연결되지 않는다.

Floating은 정전하가 축적되고, 결과적으로는 잡음 발생 방전전류가 흐르게 되어 위험하므로, 정전하의 축적을 피하기 위하여 접지에 연결하는 bleeding resistor를 사용하여 계통을 구축하는 것이 타당하다.

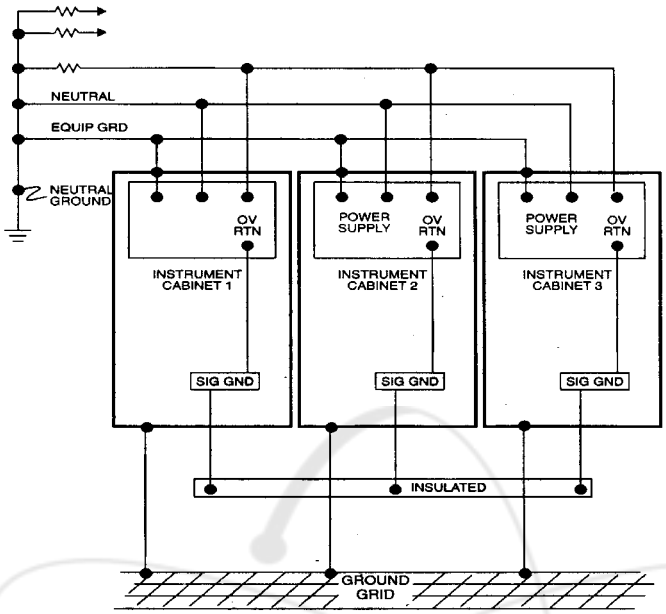


그림 5. Floating 접지

3. 차폐선 접지

디지털 계측제어계통은 디지털 장비 및 연산장치로 구성된 캐비넷 및 전자장비들로 구성되며, 각각의 캐비넷 및 전자장비에 연결된 케이블의 차폐선은 차폐접지 격자(Shield Grounding Grid)에 접지되어야 한다.

차폐선의 접지방법은 차폐선 다중점 접지, 단일점 접지가 있으며, 차폐선의 접지방법은 다음의 사항을 고려하여 접지해야 한다.

- 케이블 차폐선은 도체 길이 대 신호파장비가 상대적으로 클 때(도체길이 대 신호파장비가 0.15이상인 경우) 다중점접지를 해야 한다.
- 파장에 비해 케이블이 상대적으로 짧은 저주파수의 경우, 케이블 차폐선의 한 쪽 끝단만을 단일점 접지한다.
- 케이블이 긴 경우 공진효과를 막기 위하여, 차폐선의 양 끝단만을 접지하는 것보다 차폐선 중간 부분을 접지점에 연결하는 것이 적절하다. 다중점 접지가 효과적이지만, 중간지점에서의 차폐선 접지는 설치시에 케이블의 물리적 손상과 습기에 의한 손상을 야기할 수 있으므로, 이에 유의하여 설치해야 한다.

신호에 대한 잡음 전달을 최소화하기 위한 이상적인 케이블 차폐선 접지 방법은 모든 차폐선을 단 하나의 차폐선 접지격자에 접지하는 방법이나, 이러한 접지방법은 원자력 플랜트 도처에 접지(Distributed ground system)가 넓게 산재하게 된다. 이러한 문제에 대한 해결책으로 몇몇 설비의 차폐선을 묶어 하나의 접지 기준에 접지하는 차폐선의 중앙 배치 프레임(CDF) 접지을 한다. 중앙배치 프레임 접지시 다음의 사항에 유의하여 수행한다.

- 하나의 절연된 접지선을 원자력 플랜트 접지망(station ground mat)에서 CDF의 절연된 구리 버스로 직접 연결한다.
- 원자력 플랜트 제어실에 인접한 제어 기기실에서는 CDF 접지를 하는 것이 적절하다.
- 개별의 CDF 접지 버스들이 많다면, 절연된 케이블을 사용하여 방사상으로(“tree” 또는 “star” 구성) 연결한다.

4. 기타 주요 기기의 접지

원자력 플랜트 내부에 설치되는 전자장비중 안전에 중요한 장비, 전자파를 많이 발생시키거나 예민한 장비들의 접지는 다음과 같이 수행한다.

가. 변류기, 변압기와 CCVT(Coupling Capacitor Voltage Transformer) 접지

CT, VT, CCVT의 접지는 CT, VT, CCVT의 2차측 중성선은 부하를 충분히 감당할 수 있는 정도의 접지선에 연결해야 한다.

나. Gas-Insulated Switchgear(GIS)

GIS는 높은 수준의 EMI를 발생시키므로, GIS에 밀접히 설치된 제어회로는 완벽히 차폐되어야 한다. GIS의 차폐는 다음의 사항을 따른다.

1) GIS위에 직접 설치된 모든 소자들(예, gas density relay, disconnect switch auxiliary switch, interlock, drive, circuit breaker control, CT와 VT의 이차측 연결)은 완벽히 금속밀폐 되어야 하고, 소자들의 외함(housing)과 덮개(cover)는 GIS의 외함에 전기적으로 접속하여야 한다.

2) 모든 제어 케이블은 차폐되어야 한다. 효과적인 케이블 차폐는 연속적인 원통형으로 적용된 주름잡힌 금속차폐이어야 한다.

3) 제어 캐비넷이 GIS에 밀접한 경우, 캐비넷을 완벽히 차폐하도록 설계한다.

4) 낮은 과도현상 내성 수준(low-transient immunity level)을 갖는 장비(예: 컴퓨터)가 GIS와 동일 구조물(building)내에 설치될 때, 장비를 포함한 방의 완벽한 차폐(Faraday cage)가 고려되어야 한다

다. 도관과 케이블 트레이(Tray) 접지

도관과 케이블 트레이(tray)는 접지를 해야 한다. 접지 관련 규격은 IEEE-STD-665, 1050등이 있으며, 접지시 중요한 고려사항은 다음과 같다.

·모든 도관들은 전력선을 밀폐하고, 설비 접지 계통(facility ground system)에 연결되어야 한다

·도관, 부속(fitting), 박스(box)간은 전기적으로 연결되어야 한다.

·모든 파이프와 나사의 나사선은 맞물리거나 조이기전에 전도성 윤활유를 사용하여야 한다.

·접지 고정나사(Grounding locknut)는 페인트칠이나 다른 비전도성 칠들을 관통하여 고정되어야 한다.

·케이블 트레이 내부에서, 도선의 불연속적인 이음매(joint)는 적절한 크기의 점퍼선을 사용하여 접속해야 한다.

·Pull box의 덮개판(cover plate), 접합점 박스(junction box)와 출구 박스(outlet box)위의 나사는 단단히 조여져야 한다.

·모든 도관 받침대와 걸이들은 도관과 전기적인 한 부분으로 접속되어야 한다.

·모든 케이블 트레이 계통은 전기적으로 연결되어야 한다. 이것은 지지 받침대와 걸이(hanger)를 포함한다.

라. 영상기기 신호의 접지

정보처리계통, 개괄정보표시기, 경보 및 지시계통에서 동축케이블로 전송되는 영상신호(예: CRT에 전송되는 영상신호)는 잡음에 대단히 민감하다.

영상기기 및 그 외 주변기기의 설치는 다음의 사항을 고려한다.

· RF 신호 전송을 위해서는 고주파수용 차폐케이블을 사용해야 한다.

· CRT가 표시 발생기(display generator)에서 멀리 떨어져 있는 경우 또는 다른 접지점을 갖을 때 절연변압기를 사용하는 것이 적절하다.

제 2 절 차폐(Shielding)

장비가 많이 탑재되는 원자력 플랜트 제어실이나 기기실에서는 공간에 복사잡음이 많이 발생하며, 이러한 비좁은 공간에서는 전자파 간섭이 매우 심하다. 따라서 각 장비의 외함은 전자파 간섭을 줄일 수 있도록 철제로 제작되어야 하고 철판은 최소 3.2mm의 두께를 갖는 것이 적절하다.

또한, 잡음의 발생원인 전자 장비는 타 장비에 비해 상위수준의 EMC 방법을 사용하여 타 장비에 대한 전자파 간섭을 줄여야 한다.

1. 장비 차폐

캐비넷 및 전자장비의 차폐를 위해서는 전자파 침투 또는 방사경로에 대한 차폐 설계가 필요하다. 캐비넷 및 전자장비의 경우 출입문, 투시창, 통풍구 및 케이블 관통부등과 같이 여러 부위에 대한 차폐성능의 연속성 유지가 필요하다.

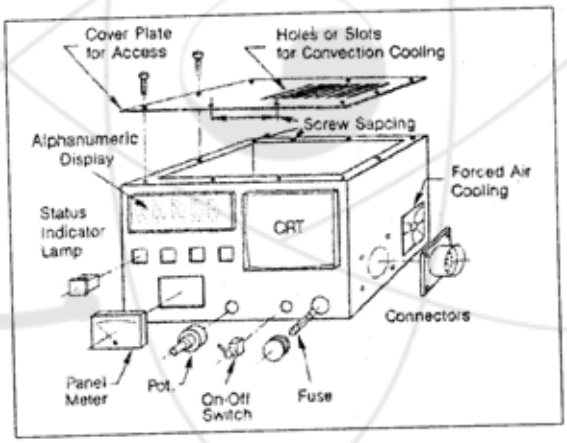


그림 6. 전자 장비 차폐

따라서, 일정 수준의 차폐재를 캐비넷에 장착하고, 이음새, 케이블 인입, 구멍(aperture)과 같은 전자파 유입경로에 대한 차폐조치를 취해야 한다. 전자파 유입은 캐비넷 차폐 통합성을 저해하고, 캐비넷 안팎에서의 전자파 결합의 가능성을 제공한다. 전자파 결합의 영향은 간섭파의 파장과 관련하여 구멍 또는 이음새의 크기에 따라 다르다.

외함의 모든 opening은 어떤 주파수에서도 효과적인 결합 경로를 제공할 수 있

으며, opening의 크기가 증가함에 따라 그 결합 효과 또한 증가하고 파장의 1/20보다 큰 opening은 전자파 에너지가 감쇄없이 opening을 자유롭게 지나갈 수 있다.

캐비넷 및 전자장비에 opening이 존재할 때는 언제나, 전자파 결합을 줄일 수 있는 다음과 같은 보호조치가 취해져야 한다.

· 캐비넷의 가장 큰 opening이 파장의 1/20보다 작아야 한다. opening이 파장의 1/20보다 크다면 부가적인 보호조치가 필요하다.

· 케이블 인입이 있는 부분의 차폐는 차단주파수이상에서 동작되는 도파관(waveguide)을 사용하여 수행한다. 도파관 사용은 그림 7.에서 보는 바와 같이 도전성 축을 캐비넷 안쪽에 연결한다. 도파관의 전도성 축의 길이는 적어도 케이블 인입폭의 4배 이상이어야 한다.

도파관 효과를 고려하면 요구되는 차폐성능, 차단주파수 및 Hole 크기에 따라 도관의 길이가 결정되는데 아래식을 이용하여 설치될 도관의 제원을 구할 수 있다.

$$A = 0.0018fl\sqrt{(\frac{f_c}{f})^2 - 1}\ dB$$

여기서, A: 차폐율

f : 운용주파수[MHz]

l : 도관길이[cm]

f_c : 차단주파수[MHz]

$f_c = \frac{14980}{g}$; Rectangular Gap

$= \frac{17526}{g}$; Round Hole

g : Gap 또는 Hole의 최대 길이(내경)

· 플라스틱 또는 비전도성 물질의 캐비넷안에 봉합된 전자 시스템은 차폐를 제공하기 위한 전도성 물질로 처리된 케이스를 사용해야 한다. 그 밖에 금속입자를 포함한 특별한 전도성 페인트를 가지고 캐비넷 안쪽에 흡입액을 뿌리는 방법도 적절하다.

· 캐비넷 또는 전자장비의 계측표시기 또는 지시를 위한 opening이 필요할 때, 전자파에 대한 차폐를 제공할 수 있는 도전성 window를 사용해야 한다.

· 캐비넷 및 전자장비 이음새

① 전기적 도전성을 유지해야 하는 모든 접합 표면은 페인트, 산화 피막, 산화물, 유지등이 없어야 한다.

② 두 표면의 접합부는 겹쳐져야 한다. 접합부의 두 표면은 커패시터를 형성하기 때문에 접합부가 고주파수에서 전기적으로 단락이 되도록 충분한 용량성 결합이 제공되어야 한다. 최소 접합부 폭은 접합 표면간의 최대 이격거리의 다섯 배이어야 한다.

③견고한 전기적 접합은 파장의 1/20보다 크지 않은 간격으로 접합부의 길이를 따라 이루어져야 한다. 이 접합은 나사 금속구나 접지 패드, 이음새를 가로지르는 접촉 스트랩 또는 전도성 개스킷을 사용하여 수행한다.

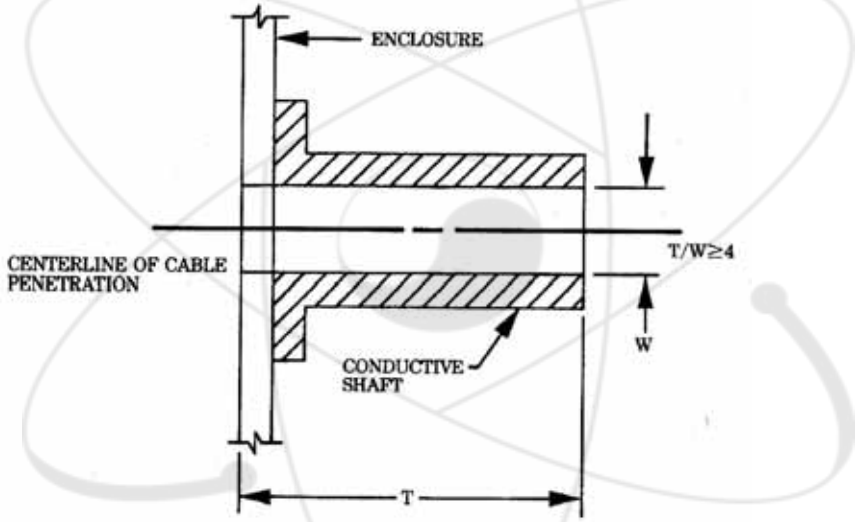


그림 7. 도파관(Waveguide)

가. 장비 외함 접합부 처리방법

구조물 차폐에서 두 금속면의 접합부위 처리방법에는 대상물의 용도에 따라 리벳팅 및 볼팅 등 직접 접속방법과 도전성 개스킷(예, Knitted Wire Mesh Type, 도전성 고무)을 이용한 간접 접속방법이 있다. 리벳팅 및 볼팅등 직접 접속에 있어 접속면의 도전성 표면처리가 우선되어야 함은 물론 체결 볼트의 간격을 다음 그림 기준과 같이 유지해야 한다.

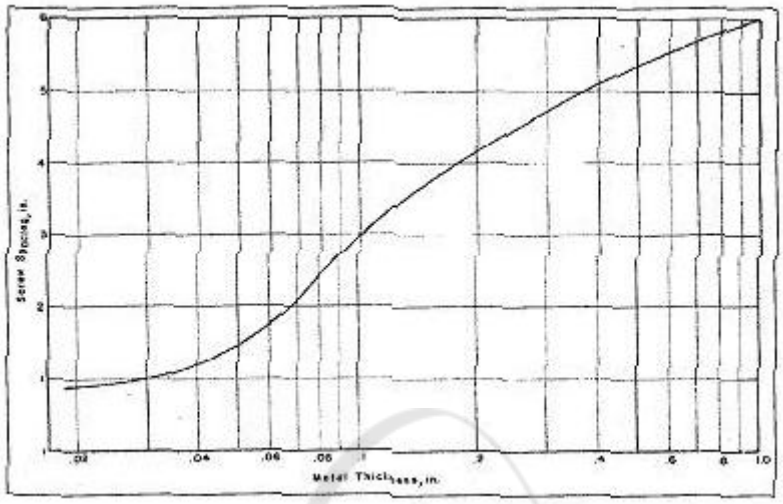


그림 8. 금속구조물 두께에 따른 체결나사 간격

나. 출입구 또는 탈착 Panel 개스킷

전자파차폐의 불연속점, 즉 고정 이음매(fixed seam), 가동이음매(access seam)를 차폐하기 위하여 캐스킷을 사용한다. 캐비넷 및 전자장비등의 불연속 이음매는 캐스킷을 이용하여 차폐의 연속성을 유지하여 외부 인출 전자파 또는 외부 전자파를 차단한다.

전자파 실딩 캐스킷은 재료의 형상에 따라 다음과 같은 것들이 있다.

-핑거 스트립(finger strip)
-스파이럴 핑거(spiral finger)
-금속와이어 직물
・편조선, mesh, 금속화 섬유

1) 개스킷 선정

캐스킷의 선정은 요구되는 차폐효과, 전자파 환경 밀봉여부, 내식성, 압력에 대한 탄력성의 유지능력 등 마모 여부, 전기적 적합성, 압축성을 고려하여 격실구조, 출입구 형상에 적절한 개스킷을 선정하여야 한다. 그림 9, 그림 10.은 EMI개스킷이다.

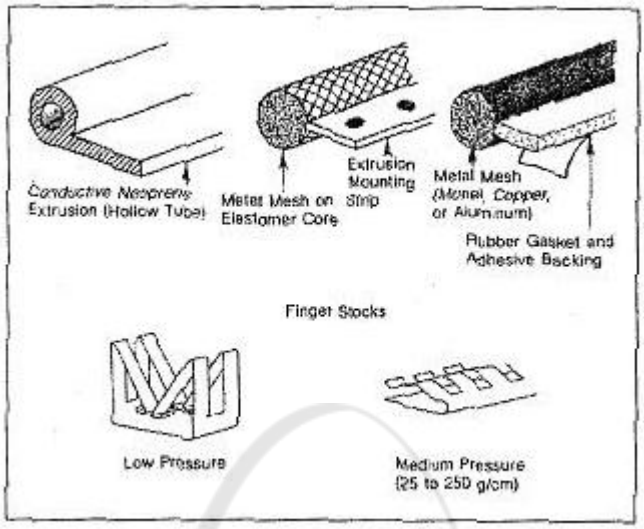


그림 9. EMI 개스킷 종류(I)

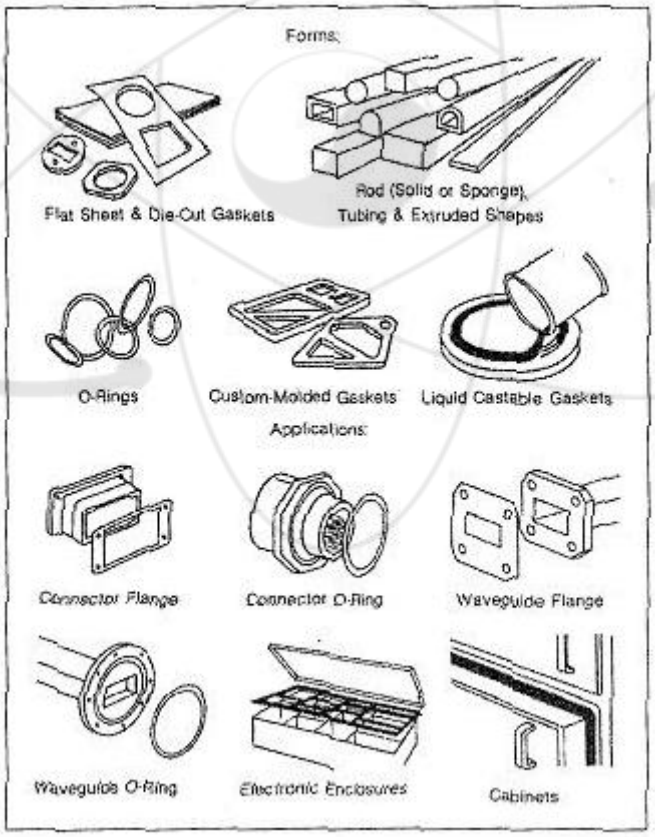


그림 10. EMI 개스킷 종류(II)

2) 캐스킷 부착 방법

캐스킷의 부착은 접합점에서 접합저항을 낮게 제한하는 것이 가능한가가 중요하다. 홈에 장착될 캐스킷의 폭과 높이는 홈의 각각 1.33배, 0.75배의 크기를 사용한다.

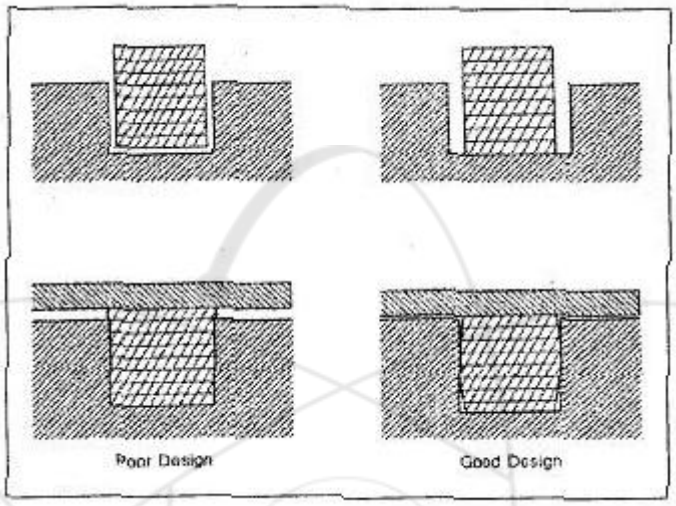


그림 11. 개스킷 설치 방법(I)-홈(Groove) 작업 부위

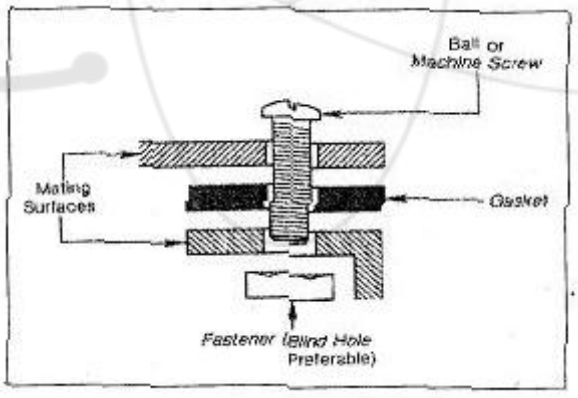


그림 12. 개스킷 설치 방법(II)-볼트 체결부

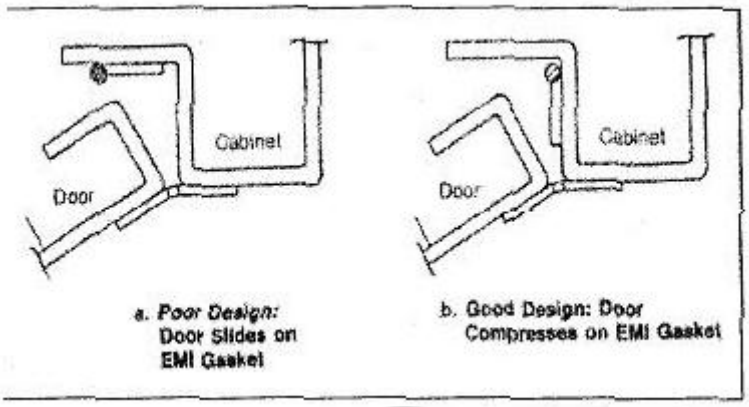


그림 13. 개스킷 설치 방법(III)-도어

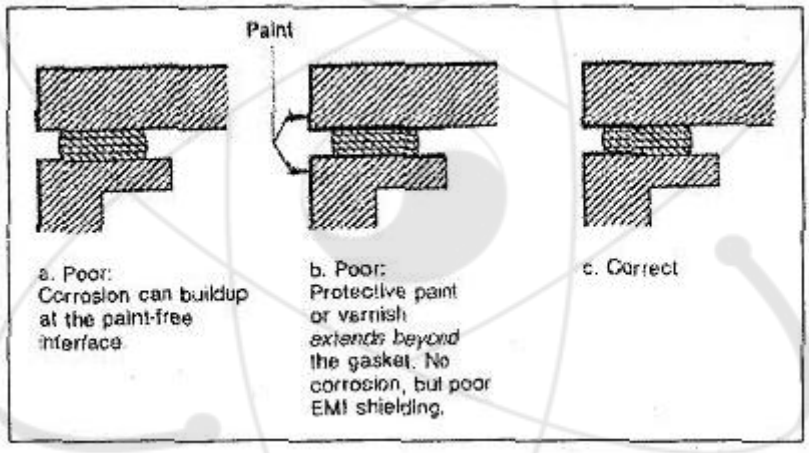


그림 14. 개스킷 설치 방법(IV)-방습처리

3) 캐비넷 및 전자장비 통풍구 및 화면표시기 차폐

통풍구에 적용되는 차폐는 벌집형 통풍구(Honey Comb Vent) 또는 Screen Mesh등을 사용하며, 차폐성능뿐 아니라 최소 Air-Pressure Drop특성, 내식성 및 내구성등을 고려하여 선정하여야 한다.

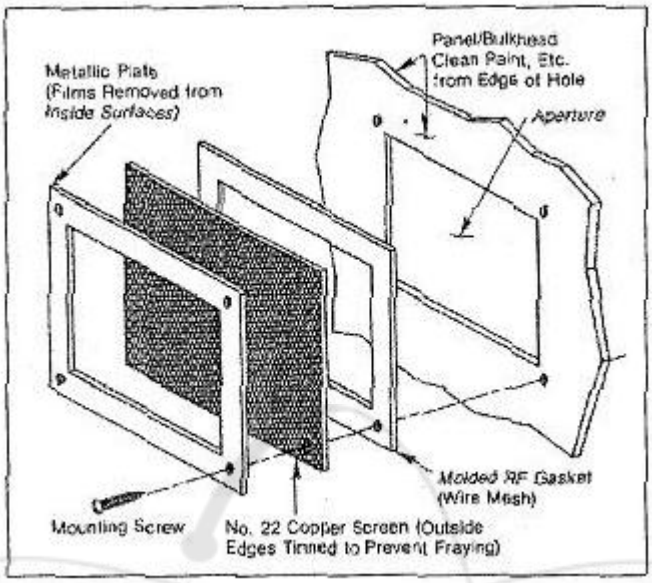


그림 15. 벌집형 통풍구(Honey Comb Vent)

화면표시기 차폐에 사용되는 차폐재질은 Metal Coated Window 또는 Wire-Mesh Laminated Window로 구분되며 광 투과율은 80%이상 유지해야 한다.

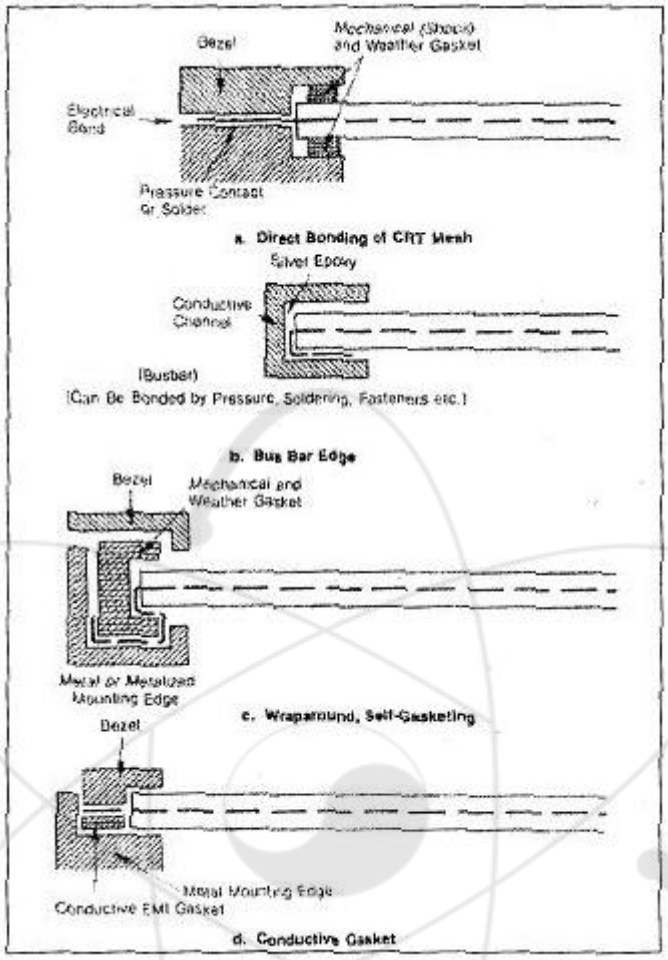


그림 16. 투시창 설치방법

4) 캐비넷 및 전자장비 외함 관통부 설계

캐비넷 및 전자장비의 전력공급선, 타 캐비넷 및 장비간 인터페이스(통신, 신호, 제어선등) 케이블 및 기타 관통구들은 내/외부 전자파환경에 노출되어 불요신호의 안테나 역할을 하므로 캐비넷 통과시 도파관을 이용하여 철저히 차폐시켜야 한다.

또한 전력선은 케이블을 통해 들어오는 고주파수의 전도성잡음을 제거하기 위하여 전력선 인입 부분에 저역통과필터를 사용해야 한다.

2. 케이블 차폐 및 케이블 배열

디지털 장비로 구성된 캐비넷 및 전자장비의 전력선, 신호선등은 잡음경로가 되거나 잡음의 결합이 발생되는 매체가 된다. 따라서 케이블의 잡음 발생을 줄이기 위한 캐비넷 및 전자장비의 케이블의 일반적인 배열은 다음과 같다.

- 제어 케이블을 방사상(radial)으로 배열한다. 한 장비에서 다른 장비로 루프를 구성해서는 안 된다.
- 모든 전원 공급선과 귀환선(Return Line)은 큰 전자파 유도를 피하기 위하여 공통 케이블(common cable)내에 있어야 한다.
- 변류기(Current Transformer)의 두 이차측 도선들이나, 두 양/음극의 직류 도선은 동일한 케이블안에 있어야 한다. 또한 변압기(Voltage Transformer)의 2차측, 3상과 중성선도 동일한 케이블내에 있어야 한다.
- 전원 공급선과 귀환선들이 분리되어 있다면, 동일한 배선관(raceway)내에서 루프를 최소화하고, 유도성 결합으로부터의 간섭을 줄이기 위하여 가능한한 서로 근접하게 설치되어야 한다.
- 가능하다면 두 선의 부드러운 꼬임으로 유도잡음의 크기를 줄여야 한다.
- 케이블 결합을 최소화하기 위하여, 제어 케이블들을 1차측 과도 전류가 존재할 수 있는 buswork 및 전력도선들과 직각으로 배열한다. 직각배열이 불가능한 경우 평행하게 배열된 버스들의 분리 거리를 최대한 크게 한다 .
- 제어케이블 길이를 최소화하도록 제어실을 중심부에 위치시킨다.

전력선과 제어선간은 최대 거리를 둔다. 전력선 및 제어선은 전도성 캐비넷 또는 기준 접지판에 밀접히 배열해야 한다.

케이블의 차폐와 더불어 케이블간의 이격은 전자파 간섭을 줄일 수 있는 하나의 방법으로 사용되며, 차폐 케이블 및 차폐 유형은 다음과 같이 구성된다.

가. 케이블 차폐와 이격

- 케이블 차폐

각각의 캐비넷 및 전지/전자장비의 전원선, 신호선, 통신선, 제어선등은 공간의 복사성 잡음의 전자파 간섭에 대한 방안으로 연속적인 케이블 차폐를 유지해야 한다.

- 차폐 케이블 및 케이블 차폐 유형

디지털 계측제어계통내의 전원선, 신호선은 동축케이블이나 꼬임선 케이블을 사용하여 전자파 간섭에 대한 연속적인 차폐를 제공하고, 캐비넷 및 랙간의 자료통신

망 케이블은 전자파간섭에 강한 광통신 케이블을 사용하는 것이 적절하다.

1) 동축케이블(Coaxial cable)

300kHz이상의 주파수 신호는 가급적 동축케이블을 사용하여 전송한다. 차폐물이 실질적으로 감쇄하지 않은 주파수이하의 특정한 주파수를 차단주파수(cutoff frequency)라고 하고, 다음과 같이 정의된다.

$f_c = R_s/(2\pi L_s)$

여기서, R_s : 차폐저항(shield resistance)

L_s : 차폐물의 인덕턴스(self-inductance of the shield)

표준 동축 케이블에 대한 차단 주파수는 0.5에서 10kHz범위이다. 주파수가 차단 주파수이상으로 증가하면 차폐물은 증가된 감쇄를 제공한다. 브레이드(Braid)는 안쪽 도선을 완벽히 밀폐하기 위하여 연결 접합부(connection junction)에서 납땜되어야 하며, 동축 케이블을 배열할 때에 최대 가능한 골곡 반경을 적용해야 한다. 그 굴곡 반경은 케이블의 공칭 지름의 10배 이상이어야 한다.

2) 꼬임선 케이블(Twisted Pair Cable)

평행한 두 도선사이에서는 하나의 루프가 생성되는 것과는 달리 도선을 꼬면 일련의 근접한 루프들이 형성된다. 자계장에 의하여 근접한 루프로 유도된 전류가 각각의 도선에 반대방향으로 흐를 것이기 때문에, 꼬인 도선들을 통과한 모든 자계장들은 서로 상쇄된다.

꼬임선 케이블은 용량성 결합에 대해 효과적이고, 용량성 결합으로부터 발생된 공통 모드 잡음에 대한 보호는 여전히 마련되어야 한다.

꼬임선(twisted pair)의 꼬임새(lay)을 짧게 하면 할수록 잡음 감소가 더 커진다. 최소 18 turns/m를 사용하는 것이 적절하다.

3) 광통신 케이블

광섬유는 전송손실이 극히 낮을 뿐 아니라 주파수가 마이크로파보다 수만배 높은 광파장을 캐리어로 사용하므로 매우 높은 전송대역폭을 제한없이 장거리에 전송할 수 있다.

무엇보다도 광섬유는 비전도체이므로 습기의 영향을 받지 않고 전자파나 유도장해를 받지 않아서 전자파간섭의 영향을 거의 받지 않는다. 따라서, 디지털 계측제어계통의 캐비넷 간 통신선은 가급적 광통신 케이블을 사용하고 또한 캐비넷 내부 랙간

의 통신에서도 광통신 케이블을 사용한다.

나. 케이블간의 이격

다른 구동 전압 또는 다른 에너지 레벨로 동작하는 케이블들은 물리적으로 분리되어야 한다. 낮은 에너지의 아나로그 신호는 더 높은 에너지의 제어신호와 동일한 케이블(same cable)을 사용해선 안 된다. 또한, 직류 배터리와 교류 제어전력 회로는 동일한 케이블 내에 있어서는 안 된다

마찬가지로 이렇게 격리된 케이블들은 그 기능에 따라 그룹핑되고 적절한 거리를 두어 이격되어야 한다.

하나의 케이블 트레이(tray)내에서 다른 범주의 회로들이 거리를 두고 평형 하게 뻗을 때, 접지된 금속 장벽(metallic barrier)으로 두 회로를 분리하는 방법도 적절하다.

제 3 절 필터링(filtering)

잡음은 전파경로에 따라 공간을 경유하는 복사성 잡음과 전원선이나 신호선등을 경유하는 전도성 잡음이 있다. 전도성 잡음을 제거하기 위해서는 적절한 감쇄비를 갖는 필터를 사용해야 한다.

캐비넷 및 전자장비로 인입하는 전력선, 교류접지 도선, 출력 도선, 모든 제어 및 로직신호 도선들이 전도성 간섭을 야기한다. 일단, 고주파수 잡음이 전자 회로내에 들어오면, 회로 내에서 고주파수 신호의 일부가 잡음으로 나타난다. 따라서, 캐비넷 및 전자장비를 고주파수 잡음으로부터 보호하기 위해서는 저역통과필터(Low Pass Filter)를 사용하여 잡음을 제거해야 한다.

1. 필터

가. 필터 종류

1) 주파수특성에 따른 필터 분류

- 저역통과필터

원하지 않는 고주파수의 잡음을 저주파수의 신호로부터 여파하는 필터로서 고주파수의 신호를 차단하여 낮은 주파수의 신호만 통과시켜 원하는 신호를 얻는다.

· 고역통과필터
원하는 신호의 주파수가 고주파수일 경우 고주파수의 신호만 통과시키고, 낮은 주파수의 신호는 차단한다.

· 대역통과필터
원하는 신호가 일정 주파수대역폭내에 있다면 그 신호만 통과시키고, 그 외의 주파수는 차단하는 필터이다.

· Notch 필터
원하지 않는 신호의 주파수가 일정 주파수 대역폭내에 있는 경우, 그 주파수 신호만을 차단하고, 그 외의 주파수 신호는 통과시키는 필터이다.

2) 사용용도에 따른 필터 분류
·전원용 필터
·신호용 필터

나. 필터 구성
필터는 단순한 커패시터, 패라이트 비드부터 대역 필터등이 있고, 필터의 구성은 필터링될 잡음특성을 고려하여 설계한다.
필터를 구성하는 소자들은 다음과 같다.

· 페라이트 비드
· 관통형 콘덴서
· 코일
· 캐퍼시터

필터는 전도성 전자파간섭의 두 형태에 대응하기 위하여 가급적 동상모드타입과 차상모드타입으로 구성되어야 한다.

다. 필터 설치 요건
1) 캐비넷 및 전자장비 필터설치
전력선 필터들은 캐비넷 및 전자장비의 인입 전원선을 경로로 하는 전도성 잡

음을 효과적으로 차단하기 위하여 다음의 사항을 고려하여 캐비넷 또는 각 장비내에 설치한다.

- 캐비넷 및 전자장비내부에 설치된 필터의 인입된 전력선과 필터와의 거리를 가능한 짧게 한다. 고주파수에서, 입/출력 기생 커패시터에 대한 보호와 설계,제작된 필터의 효과를 최적화시키기 위해서 필터를 캐비넷 및 전자장비 내부 전원입력부에 바로 설치하여야 한다.
- 인입된 전력선과 근접하게 배열된 필터링된 전력선의 재결합을 피한다.
- 전력선과 신호/로직케이블의 결합이 생기지 않도록 잡음결합경로를 차단한다.
- 제거할 잡음의 주파수를 고려하여 필터의 유형을 선택하고 차단주파수를 설정한다. 불필요하게 큰 필터의 사용을 하지 않도록 한다.

2. 잡음 저감 장비

원자력 플랜트 디지털 계측제어계통 캐비넷 및 전자장비는 디지털 회로와 연산장치로 구성되며, 고속의 통신을 한다. 따라서 수 MHz의 전도성 및 복사성 잡음이 발생하며, 전도성 잡음을 저감시키기 위하여 전원선이나 신호선에 다음의 장비를 적절하게 사용하여 전자파 간섭을 줄인다.

- 절연 변압기

신호회로의 균형(Balance)을 위해 절연변압기를 사용한다. 절연변압기은 신호가 교류일때만 사용 가능하다. 그러나, 매우 높은 고주파수의 잡음은 1차측과 2차측 권선간의 기생 캐퍼시턴스를 경유하므로 이러한 경우에는 Noise Cut 변압기를 사용하여 1차측과 2차측의 코일의 용량성 결합을 차단시킨다.

- 중성 변압기(Neutralizing transformer)
- 차동 증폭기

차동증폭기의 사용은 동상모드 노이즈를 줄이는 효과적인 방법이다.

- 광섬유 케이블을 사용한다.

제 4 절 잡음 결합 경로 차단 방법

잡음 전송형태를 고려하면 잡음 전압은 대부분의 경우 신호선이나, 전원선을 통해 결합되므로 이를 차단하여 잡음 발생을 저감시킨다.

1. 공통 임피던스 결합 차단

공통 임피던스 결합에 대한 저감 기법은 다음과 같다.

- 가능한 회로들 사이의 동상 임피던스 점을 제거한다.
- 접지연결은 가능한 짧게 한다.
- 접지선의 저항과 임피던스를 최소화한다.

2. 용량성 결합 차단

용량성 결합에 대한 저감 기법은 다음과 같다.

- 민감한 회로(sensitive circuit)의 임피던스를 줄인다.
- 전도성 차폐물을 설치, 연결하여 용량성 결합 전류가 신호선을 통한 흐름 없이 접지로 흐르도록 한다. 용량성 차폐물들은 신호 회로를 적절히 차폐해야 하고 잡음 전류를 위한 우회로(bypass path)를 제공하기 위한 저임피던스 물질로 구성한다.
- 결합을 최소화하도록 케이블을 배열한다(물리적 분리와 직각 교차).
- 일차측과 이차측 권선사이에 용량성 차폐를 제공하는 변압기를 사용한다.

3. 유도성 결합 차단

유도성 결합에 대한 저감 기법은 다음과 같다.

- 민감한 회로(sensitive circuit)의 임피던스를 크게 한다.
- 저 자기저항(reluctance) 물질로 차폐하여 자기장을 우회시킨다.
- 고 유전율(permeability) 물질로 차폐하여 자기장을 견제한다.
- 결합과 루프 면적을 최소화하도록 제어회로를 배열한다(물리적 분리, 직각 교차, 방사상의 배열, 신호선의 꼬임)
- 주파수 간섭 지역에서, 세로로 차폐된 케이블(longitudinally shielded cable)을 사용한다.
- 신호의 상승시간(rise time)을 크게 한다.

4. 복사 결합(Radiative coupling) 차단

복사 결합에 대한 저감 기법은 다음과 같다.

· 손실이 많은 유전체 차폐(dielectric shield) 또는 자기 차폐(magnetic shield)를 사용하여 복사계를 흡수한다.

· 금속차폐를 사용하여 복사계(radiated field)를 반사한다.

· 전자계는 거리의 제곱에 반비례하므로 emitter와 receiver의 이격거리를 가능한 크게 한다.

· 캐비넷 opening을 제 2절의 장비차폐에서 기술된 바와 같이 설계한다.

5. 공통 모드 잡음 저감

동상모드 잡음은 위에 언급된 4가지 결합에 의해 발생될 수 있다. 동상 모드 잡음은 차상 모드 잡음으로 변환될 수 있기 때문에 동상모드 잡음은 제어회로의 주 잡음원이다. 동상모드 잡음은 다음의 기법을 사용하여 저감한다.

· Balanced transducer와 동일한 신호선을 사용하여 신호 회로를 대칭이 되게 한다.

· 다음 방법에 의해 동상모드 결합임피던스를 최대가 되게 한다.

(1) emitter와 receiver사이의 물리적 분리를 증가시킨다.

(2) 간섭원(interference source)과의 직접연결의 수를 줄인다.

· 민감한 회로에의 전자파 간섭을 막기 위해 차폐기술들을 사용한다.

· 동상모드 제거소자를 사용한다.

(1) 차동 증폭기(Differential Amplifier)

(2) 절연 변압기(Isolation Transformer)

(3) 광 격리기(Optical isolator)

· 다중점접지 기법을 피하고, 광범위한 계통(extensive system)에서는 수행하기 어려울지라도 단일점 접지와 floating 접지를 적용한다.

제 5 절 접속(Bonding)

1. 접속 종류

전자파의 유입 및 간섭을 배제하기 위하여 금속간의 전기적인 경로를 형성하거나, 금속간의 접속이 필요하다. 접속은 두 금속을 직접 접속하는 직접 접속과 두 금속간에 다른 장비를 사용하여 접속하는 간접접속이 있으며, 그 분류는 다음과 같다.

- Class A(직접 접속)

  용접 또는 납땜으로 두 금속 또는 그 표면사이를 영구적으로 결속시키는 방법으로서 가장 낮은 임피던스를 형성한다.

- Class B(간접 접속)

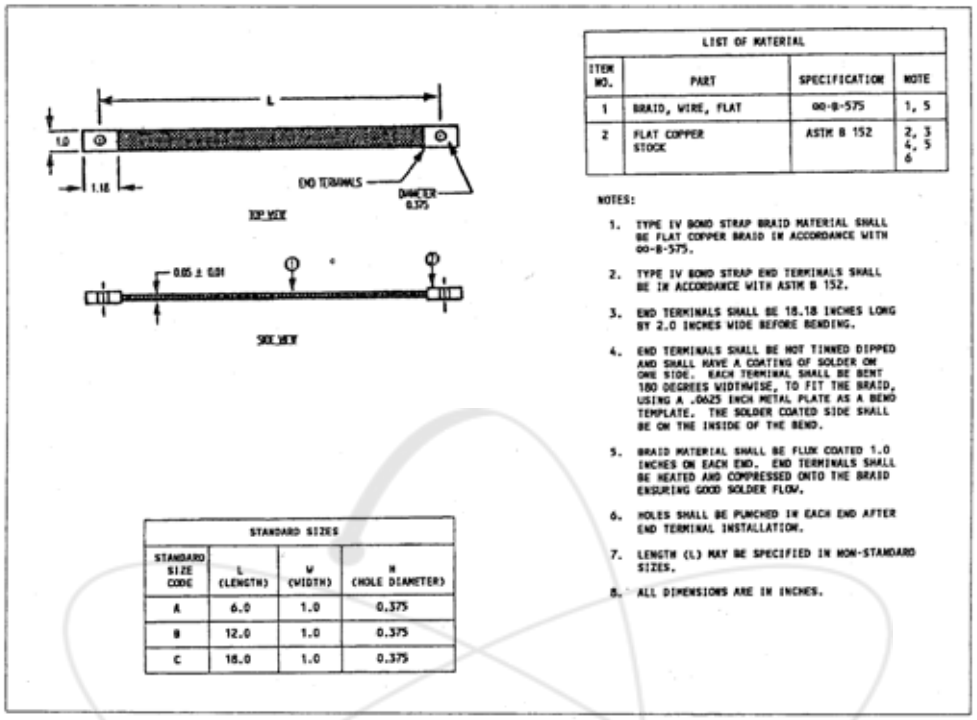
  장비 설치시 볼트등을 사용한 금속 대 금속접속에 의한 결속방법이다.

- Class C(간접 접속)

  금속 접속스트랩 또는 접지선을 연결하여 결속시키는 방법으로서 검사 및 교체가 용이한 위치에 설치하고 진동, 팽창, 수축등 물리적인 손상에 의해 부러지거나 접속부분이 헐거워지지 않도록 유의해야 한다.

2. 접속 스트랩

간접접속인 Class C를 활용할 경우 접속 스트랩은 다음 그림 17과 같이 폭 1 [inch] 편조구리선으로 제작되어야 한다.



LIST OF MATERIAL			
ITEM NO.	PART	SPECIFICATION	NOTE
1	BRAID, WIRE, FLAT	QQ-B-575	1, 5
2	FLAT COPPER STOCK	ASTM B 152	2, 3 4, 5 6

NOTES:

1. TYPE IV BOND STRAP BRAID MATERIAL SHALL BE FLAT COPPER BRAID IN ACCORDANCE WITH QQ-B-575.
2. TYPE IV BOND STRAP END TERMINALS SHALL BE IN ACCORDANCE WITH ASTM B 152.
3. END TERMINALS SHALL BE 18.18 INCHES LONG BY 2.0 INCHES WIDE BEFORE BENDING.
4. END TERMINALS SHALL BE HOT TINNED DIPPED AND SHALL HAVE A COATING OF SOLDER ON ONE SIDE. EACH TERMINAL SHALL BE BENT 180 DEGREES WIDTHWISE, TO FIT THE BRAID, USING A .0625 INCH METAL PLATE AS A BEND TEMPLATE. THE SOLDER COATED SIDE SHALL BE ON THE INSIDE OF THE BEND.
5. BRAID MATERIAL SHALL BE FLUX COATED 1.0 INCHES ON EACH END. END TERMINALS SHALL BE HEATED AND COMPRESSED ONTO THE BRAID ENSURING GOOD SOLDER FLOW.
6. HOLES SHALL BE PUNCHED IN EACH END AFTER END TERMINAL INSTALLATION.
7. LENGTH (L) MAY BE SPECIFIED IN NON-STANDARD SIZES.
8. ALL DIMENSIONS ARE IN INCHES.

STANDARD SIZES			
STANDARD SIZE CODE	L (LENGTH)	W (WIDTH)	H (HOLE DIAMETER)
A	6.0	1.0	0.375
B	12.0	1.0	0.375
C	18.0	1.0	0.375

그림 17. 접속 스트랩(Type IV)

3. 접속 처리

가. 장비 접속

장비 접속시 간접 접속인 Class B, Class C를 적용할 경우 주요사항은 다음과 같다.

- 모든 접속면에는 도장, 기름등 이물질이 없어야 한다. 볼트를 이용하여 장비를 설치하는 경우 구조물 접속면의 넓이는 장비 접촉면보다 1.5배 이상이어야 하며 도전성 표면처리가 요구된다.
- 충격 및 소음대책용 Mount를 이용하여 장비를 설치하는 경우 접속 스트랩은 접촉이 빈번하지 않은 2개소(서로 반대위치)에 부착한다.
- 접속 처리후 접속부위의 부식방지 및 방수가 요구될 때는 Sealing Compound처리를 한다.

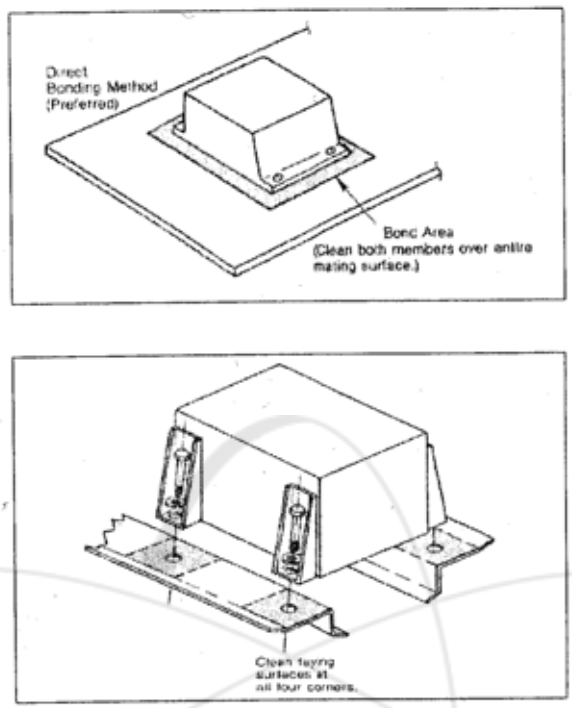


그림 18. 간접 접속(Class B)방법

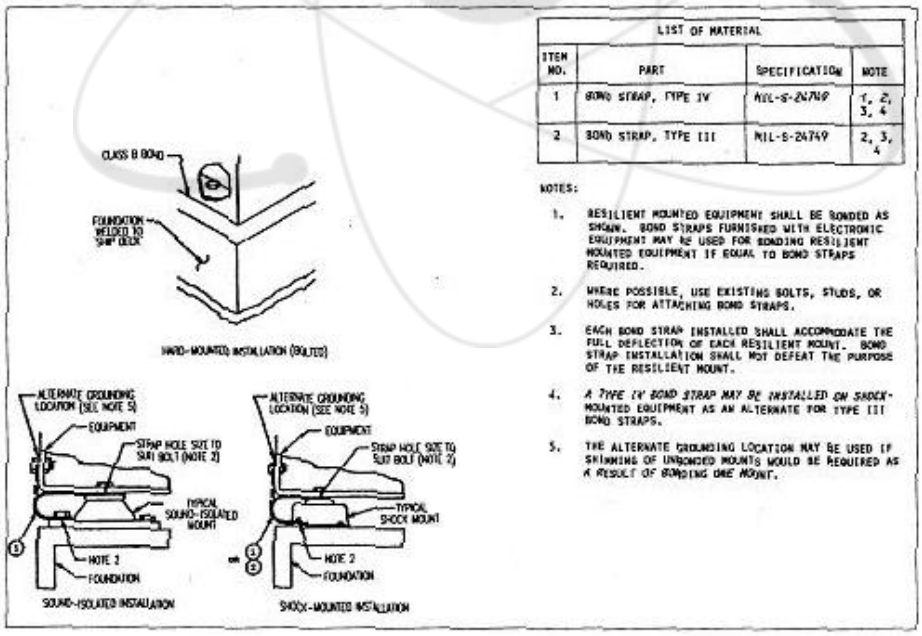


그림 19. 간접 접속(Class C)방법

나. 케이블 및 도관(Conduit)접속

차폐케이블 또는 도관의 길이가 3m이상일 때는 각 종단부로부터 1.5m이내 지점에 그림과 같이 접속처리를 한다. 접속부간 거리는 1.5m를 넘지않도록 한다. 케이블 및 도관의 길이가 3m이내일 때는 중간 한 지점에 접속한다. 접속 스트랩 러그와 도관이 접속되는 부분은 청결해야 하며, 비전도성 물질이 없어야 한다.

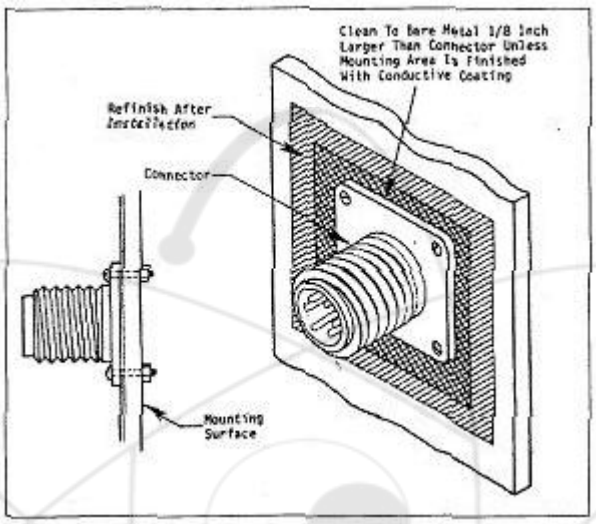
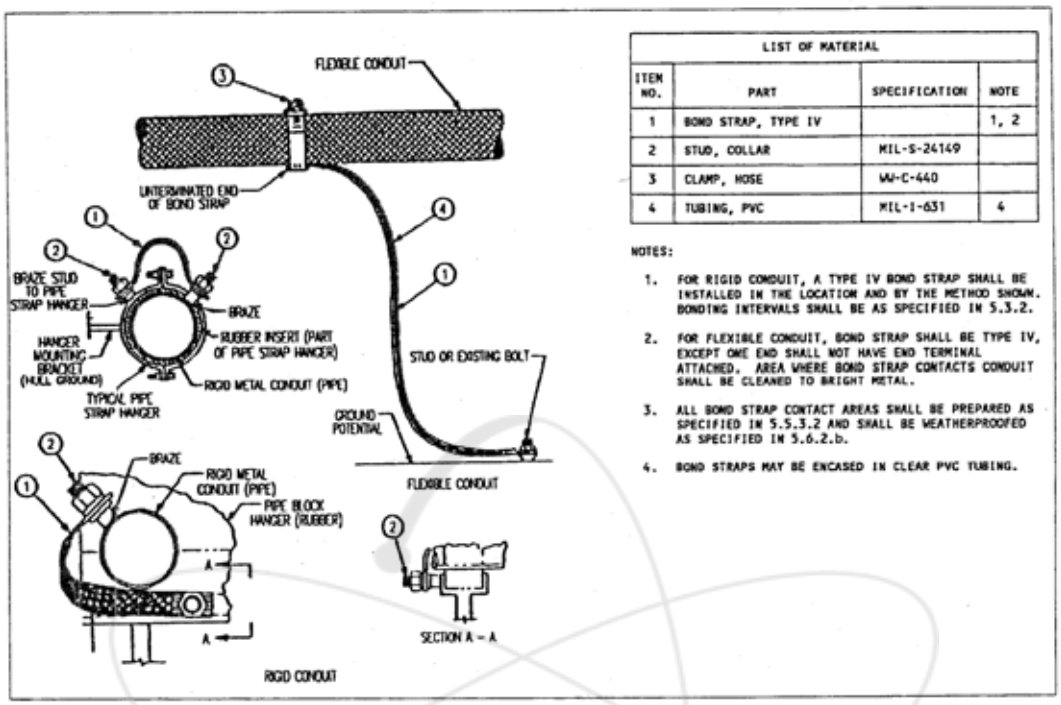


그림 20. 케이블 커넥터 접속방법



LIST OF MATERIAL

ITEM NO.	PART	SPECIFICATION	NOTE
1	BOND STRAP, TYPE IV		1, 2
2	STUD, COLLAR	MIL-S-24149	
3	CLAMP, HOSE	WW-C-440	
4	TUBING, PVC	MIL-I-631	4

NOTES:

1. FOR RIGID CONDUIT, A TYPE IV BOND STRAP SHALL BE INSTALLED IN THE LOCATION AND BY THE METHOD SHOWN. BONDING INTERVALS SHALL BE AS SPECIFIED IN 5.3.2.
2. FOR FLEXIBLE CONDUIT, BOND STRAP SHALL BE TYPE IV, EXCEPT ONE END SHALL NOT HAVE END TERMINAL ATTACHED. AREA WHERE BOND STRAP CONTACTS CONDUIT SHALL BE CLEANED TO BRIGHT METAL.
3. ALL BOND STRAP CONTACT AREAS SHALL BE PREPARED AS SPECIFIED IN 5.5.3.2 AND SHALL BE WEATHERPROOFED AS SPECIFIED IN 5.6.2.b.
4. BOND STRAPS MAY BE ENCASED IN CLEAR PVC TUBING.

그림 21. 도관 접속 방법

다. 이종 금속간 부식방지

서로 다른 금속면이 간접접속(Class B)될 때 두 금속간 전위차로 인해 부식이 발생되므로 재질 선정시 또는 접속면의 표면처리시 전위차 0.6V이하가 되도록 한다.

제 5 장 SMART EMI 대책

1 접지

가. 장비 접지

캐비넷 내부 Rack의 접지를 캐비넷에 전기적으로 연결하고 장비접지선을 전원 접지선에 연결한다.

나. 신호선 접지

제 4 장에 기술한 바와 같이 신호선을 접지한다. 각 캐비넷의 공통된 신호를 사용하는 회로의 신호 접지선을 캐비넷의 장비접지에 접지한다. 신호 접지선은 현장 기기, 차폐선 접지와 연결되지 않는다.

다. 차폐선 접지

제 4장에 기술한 바와 같이 차폐선 접지 및 종단을 접지한다. 자료통신망은 광통신 케이블을 사용하므로 차폐선 접지가 필요 없다. 저주파수의 아나로그 신호선의 차폐선 접지는 차폐선 접지요건 따라 한 끝단 접지를 한다.

2 필터

가. 전원선 필터

모든 계통 캐비넷은 고주파수의 전도성 잡음이 캐비넷 내부로 인입되는 것을 차단하기 위하여 필히 전원선 필터를 설치한다.

1) 필터유형

주파수가 60Hz인 입력전원만을 통과시키는 저역통과 필터를 사용한다.

2) 필터설치 위치

입력전원선이 각 계통 캐비넷 및 전기/전자장비 내부로 들어오는 관통부에 바로 필터를 설치한다.

3) 필터 감쇄율

감쇄율이 최소 40dB인 필터를 사용한다.

나. 신호선 필터

계통 캐비넷의 입/출력 신호선 중 타 계통으로부터 인입되는 신호선에 장착한다. 고주파수의 전도성 잡음이 인입될 경우 필히 신호선 필터를 사용한다. 신호선 필터의 사용은 신호파형의 변수에 영향을 미칠 수 있으므로 영향을 미치지 않는 범위내에서 사용한다.

1) 필터유형

대역통과 필터를 인입 신호선에 장착한다.

2) 필터설치 위치

인입 신호선 캐비넷 인입부에 설치한다.

3) 필터 감쇄율

감쇄율이 최소 40dB인 필터를 사용한다.

3 차폐

가. 캐비넷 차폐

캐비넷의 차폐는 복사성 잡음에 대한 캐비넷 내부의 연속적인 차폐를 위하여 MIL 규격수준으로 설계한다.

1) 철판 두께

최소 3.2mm이상 두께의 철판사용

나. 통풍구 및 화면표시기 차폐

1) 통풍구 차폐

가) 통풍구 차폐재질

금속성 재질의 Honey Comb Vent 또는 Screen Mesh를 사용한다.

나) 통풍구 차폐율

차폐율은 최소 40dB이상이어야 한다.

2) 화면표시기 차폐

가) 화면표시기 차폐재질

Metal Coated Window 또는 Wire-Mesh Laminated Window를 사용한다.

나) 화면표시기 차폐창 광 투과율

80%이상을 유지해야 한다.

다. 전원선, 신호선 entry

1) entry 위치

열기관 제어반 운전원 또는 제어기기실의 인원이 이동에 지장을 주지 않도록 장비 외함 바닥 또는 외함 뒷면 하단부에 설치한다.

2) entry 도파관 길이

캐비넷 및 차폐요건에 따라 제 4장에 기술된 바와 같이 인입도선의 폭과 차폐율을 정하여 도파관 길이를 선정한다.

3) 도파관 차폐율

최소 40dB의 차폐율을 갖는 도파관을 사용한다.

라. 캐비넷 접합면

캐비넷 이음새에 의한 전자파 간섭을 차단하기 위하여 캐비넷 및 전자장비 차폐요건에 따라 접합표면은 페인트, 산화 피막, 산화물, 유지등이 없어야 하며, 두 접합부는 겹쳐져야 한다.

4 케이블링

캐비넷 및 전자장비의 전력선, 신호선은 잡음경로나 잡음의 결합이 발생하는 매체가 되므로 케이블 배열로 잡음의 경로나 결합을 차단하다.

5 제어반

가. 화면표시기 차폐

화면 표시기의 차폐는 화면을 육안으로 볼 필요가 있음으로 다음의 사항을 만족하도록 한다.

- 문자 또는 영상이 잘 보여야 한다.
- 광의 투과성이 높아야 한다.
- CRT의 곡면 전면유리에 간극없이 밀착해야 한다.
- ±30。 방향이내에서 모아레 무늬가 관측되지 않아야 한다.
- 차폐효과는 Mesh의 저항이 낮을수록 크므로, Mesh의 직류저항과 고주파수저항이 낮은 것을 선택한다.

1) 화면표시기 차폐재질

Metal Coated Window 또는 Wire-Mesh Laminated Window를 사용한다.

2) 화면표시기 차폐창 광 투과율

80%이상을 유지해야 한다.

나. 제어반 접합면

제어반 이음새에 의한 전자파 간섭을 차단하기 위하여 제어반 및 전자장비 차폐

요건에 따라 접합표면은 페인트, 산화 피막, 산화물, 유지등이 없어야 하며, 두 접합부는 겹쳐져야 한다.

제 6 장 결론

본 보고서에서는 SMART 디지털 계측제어계통의 전자파장애 극복 대책기술에 대하여 다루었다. 최근 대두되고 있는 디지털 장비의 전자파 장애 취약성에 대한 해결책으로써, 원자력 플랜트 디지털 계측제어계통의 전자적인 특성에 대하여 파악하여 전자파 장애에 대한 대책을 세울 수 있도록 하였다.

현 원자력 플랜트 내부의 주요 전자파 발생장비를 조사하고, 발생되는 잡음을 파악하여, 주파수 및 잡음 유형에 따른 대책을 세울 수 있도록 하였다. 디지털 장비는 전자파에 매우 민감하게 반응할 것이므로 소자, 보드, 랙, 캐비넷 단위의 철저한 대책이 필요하다.

원자력 플랜트 관련 전자파 규격으로는 Reg. Guide 1.180과 EPRI-TR-102323이 있으며, 이러한 규격에 만족하기 위해서는 전자파 장애를 최소화하기 위한 EMC 대책을 설계시 또는 원자력 플랜트 설치시 적용토록 하였다.

대책 기술로는 전원선, 신호선, 차폐선 등의 설치 환경 및 동작 주파수에 따른 접지 기법과 이러한 케이블간의 전자파 간섭 및 전자파 결합 경로를 최소화하기 위한 케이블간의 이격 및 배열 기법, 이와 함께 장비 내 외부의 전자파 유입 및 방출을 막기 위한 장비차폐 기법, 전도성 잡음의 인출입을 막기 위한 필터링 기법과 접속기법을 기술하여 SMART 디지털 계측제어계통 설계시나 설치시에 전자파에 대한 간섭을 최소화시킬 수 있도록 하였다.

참고문헌

1. NUREG/CR-5941, ORNL/TM-12221, “Technical Basis for Evaluating Electromagnetic and Radio-Frequency Interference in Safety-Related I&C systems”, 1994.

2 NUREG/CR-6431. ORNL/TM-13158, “Recommended Electromagnetic Operating Envelopes for Safety-Related I&C Systems in Nuclear Power Plants”, 1997.

3. NUREG/CR-6436, ORNL/TM-13171, “Survey of Ambient Electromagnetic and Radio-Frequency Interference Levels in Nuclear Power Plants”, 1996.

4. Reg. Guide 1.180, “Guidelines For Evaluating Electromagnetic and Radio-Frequency Interference in Safety-Related Instrumentation and Control System”, U.S Nuclear Regulatory Commission, 2000.

5. EPRI TR-102323, “Guidelines for Electromagnetic Interference Testing in Power Plants”, 1994.

6. EPRI TR-102323-R1, “Guidelines for Electromagnetic Interference Testing in Power Plants”, 1997.

7. IEEE Std 142-1991, “IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power System”, 1991

8. IEEE Std 518-1982, “IEEE Guide for the Installation of Electrical Equipment to Minimize Noise Inputs to Controllers from External Sources”, 1982.

9. IEEE Std 665-1987, “IEEE Guide for Generating Station Grounding″, 1987.

10. IEEE Std 1100-1992, “Powering and Grounding Sensitive Electronic Equipment”, 1992.

11. IEEE Std 1050-1989, “IEEE Guide for Instrumentation and Control Equipment Grounding in Generating Stations”,1989.

12. ANSI/IEEE Std C62.41-1991, “IEEE Recommended Practice on Surge Voltages in Low-Voltage AC Power Circuits”, 1991.

13. IEEE Std C62.45-1992, “IEEE Guide on Surge Testing for Equipment Connected to Low-Voltage AC Power Circuits”, 1992.

14. MIL-STD-461E, “REQUIREMENTS FOR THE CONTROL OF ELECTRO -MAGNETIC INTERFERENCE CHARACTERISTICS OF SUBSYSTEMS AND EQUIPMENT”, 1999.

15. KAERI/AR-557/2000 State-of-art Report on Digital I&C System Reliability Issues for Nuclear Power Plants, 황인구

16. KAERI/TR-1809/2001 Survey and analysis on environmental and electromagnetic effect on I&C equipment of nuclear power plants, 황인구

서 지 정 보 양 식

수행기관보고서번호	위탁기관보고서번호	표준보고서번호	INIS 주제코드
KAERI/TR-2619/2003			

제목 / 부제	SMART 디지털 계측제어계통 전자파 장애 대책 기술
연구책임자 및 부서명 (주저자)	이 준구(MMIS 설계기술개발)
연 구 자 및 부 서 명	박희윤, 구인수(MMIS 설계기술개발)

출 판 지	대전	발행기관	한국원자력연구소	발행년	2003. 11
페 이 지	47p.	도 표	있음(O), 없음( )	크 기	27 Cm.
참고사항					

비밀여부	공개(O), 대외비( ), __ 급비밀	보고서종류	기술보고서
연구위탁기관		계약 번호	

초록 (15-20줄내외)

최근 전자, 컴퓨터, 정보통신의 첨단 공학 발달로 계측제어 시스템은 혁신적으로 발전하고 있다. 신 기술의 도입에 보수적인 원자력 관련 계측제어 시스템도 예외는 아니다. 현대의 계측제어 시스템은 고도의 컴퓨터 기술, 통신 기술, 제어 기술이 조화롭게 집적된 고도의 시스템 기술을 적용하는 추세에 있다. 원자력 플랜트에 장착될 장비들은 플랜트의 환경에서 정상적으로 동작하여 기본 기능 및 성능을 발휘하여야 한다. 원자력 플랜트의 아나로그 장비들은 일부 디지털 장비로 교체되어 사용되고 있으며, 산업계에서는 이미 빠른 정보처리와 대용량의 계산이 가능한 디지털 장비로 교체하여 큰 성과를 거두고 있다. 디지털 장비의 이러한 장점에도 불구하고, 원자력 플랜트 환경에서 전자파에 대한 건전성을 갖고, 제어계통 본래의 기능을 수행함을 확인하기 위해 전자파 기기검증이 이루어져야 한다. 전자파 기기검증을 위해서는 설계자들은 디지털 계측제어계통을 전자파 내성(EMC)을 고려하여 설계하여야 하고, 관련 규격에 따라 시험을 해야 한다. 원자력 플랜트의 전자파 규격인 Reg. Guide 1.180은 IEEE-STD-518, 665, 1050의 전자파를 고려한 설계와 MIL 규격 및 IEC 규격에 따라 장비의 전자파 시험을 하도록 권고한다. 따라서 원자력 플랜트 전자파 규격을 만족하는 장비를 설계하기 위하여, 소자, 보드, 랙, 캐비넷 단위의 전자파 장애 대책과 디지털 장비 설치시의 전자파 장애 대책을 기술한다. 대책 기술로는 IEEE-STD-518, 665, 1050을 근거로 해서 접지, 차폐, 필터링과 함께 케이블링, 접속등에 대하여 기술한다.

주제명키워드 (10단어내외)	원자력플랜트, 디지털계측제어계통, 전자파장애, 접지, 차폐, 필터링, 케이블링

BIBLIOGRAPHIC INFORMATION SHEET			
Performing Org. Report No.	Sponsoring Org. Report No.	Standard Report No.	INIS Subject Code
KAERI/TR-2619/2003			
Title / Subtitle	Electromagnetic Interference Counterplan for SMART Digital Instrumentation and Control System		
Project Manager and Department (or Main Author)	J.K. Lee (MMIS)		
Researcher and Department	H.Y. Park, I.S Koo (MMIS)		

Publication Place	Taejon	Publisher	KAERI	Publication Date	2003. 11.
Page	47 p.	Ill. & Tab.	Yes(O), No ( )	Size	27Cm.
Note					
Classified	Open(O), Restricted( ), ___ Class Document		Report Type	Technical report	
Sponsoring Org.			Contract No.		

Abstract(15-20 Lines)

Due to development of electronics, computer and information communication engineering, instrumentation and control system is developing to innovative improvement. High integrated system technologies of computer, communication and control are applied to Modern I&C system. But conservative I&C system related to nuclear power plant is currently introducing the new technique. Industrial analog equipment have already been replaced with digital equipment but Some analog equipment is recently changing to digital equipment in a nuclear power plant. It is very important for unclear power plant digital I&C system to act to designed functions and performance under the environment during a life cycle. In spite of merit of digital equipment, it is necessary for digital I&C system to be confirmed to operate functionally under the electromagnetic environment and to obtain electromagnetic environment qualification. To overcome electromagnetic interference, designers should consider the electromagnetic compatibility about digital I&C system and test the digital I&C system according to Regulatory Guide 1.180 or EPRI-TR-102323. Regulatory Guide 1.180 endorsed IEEE-STD-518, 665, 1050 covering EMC design and test procedure and applied limit according to MIL-STD-461C/D. To design nuclear power plant digital I&C system conform to EMI regulatory guide, when device, board, rack and cabinet of I&C system are designed and installed, designer should consider EMI counterpart technique. EMI counterpart technique based on IEEE-STD-518, 665, 1050 is specified about grounding, shielding, filtering, cabling and bonding

Subject Keywords (About 10 words)	Nuclear Plant, Digital I&C System, Electromagnetic Interference (EMI), Ground, Shield, Filter, Cabling