

2023-KEPIC Week

실드 신호선에 대한 전도성 내성시험 영향 평가

01 원전 전자파
적합성

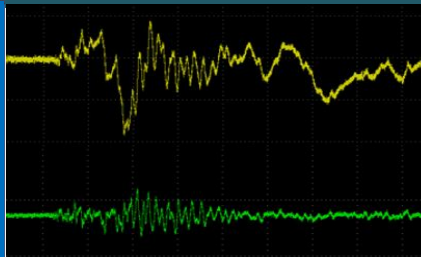
02 신호선
내성시험



03 신호선
실드



04 영향평가



05 결론

민문기

2023.9

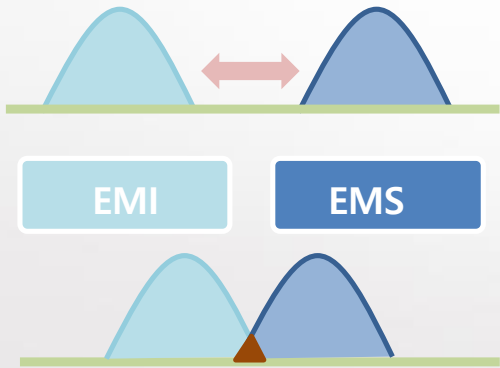
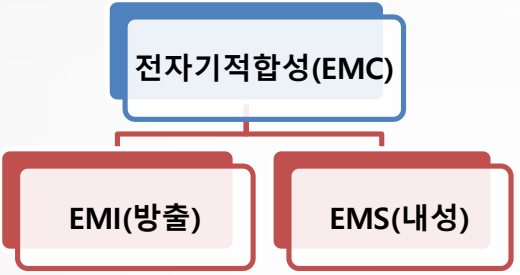


1

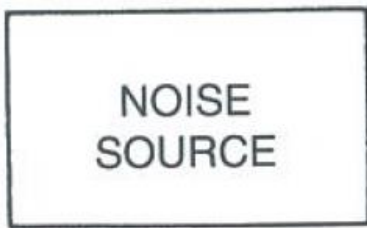
전자파적합성

전자기적합성(EMC)

- 전자기 방출(EMI) : 대상 기기가 타 기기에게 전자파 방출로 전파되는 전자파 방출 수준
- 전자기 내성(EMS) : 대상 기기가 전자파 환경(타 기기)에서 전파되는 전자파 방출(EMI)에 대해 오 동작을 일으키지 않고 견디는 능력



A) 잡음원 (발생원)



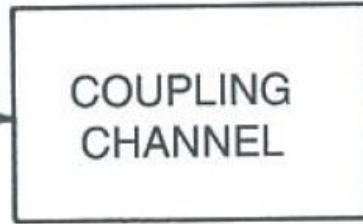
① 잡음 특성 변경

Frequency

Amplitude

Time

B) 전달경로



③ 결합 막거나 최소화

전도에 의한 잡음 결합

공통 임피던스에 의한 잡음 결합

전자기장에 의한 잡음 결합

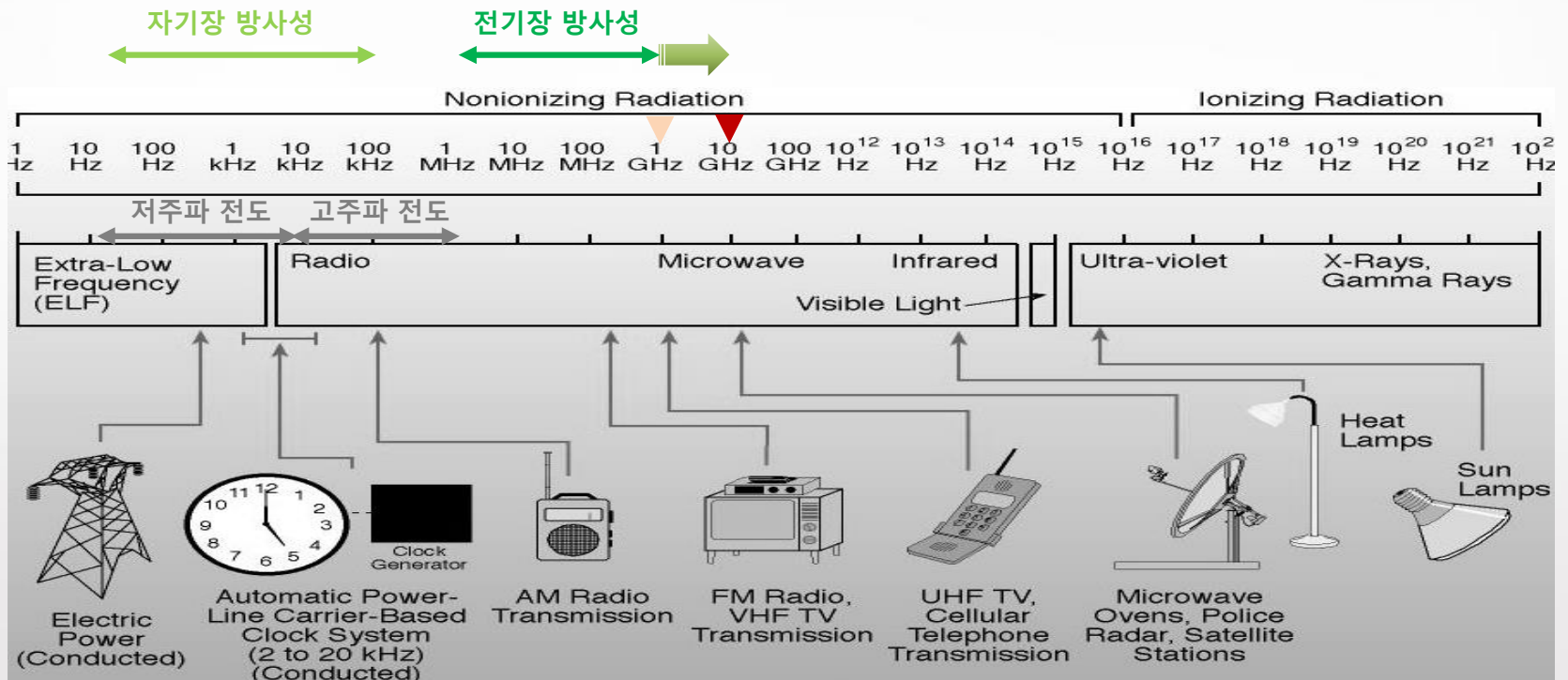
C) 피해 장치



② 잡음에 영향 받지 않게

A) 잠음원(Noise)

- 제어계통의 회로에 바람직하지 않는 영향을 발생하는 원하지 않는 전기 신호 (Kepic EMC 5000)
- 원하는 신호, 전원 또는 신호와 전원을 포함하거나 포함하지 않는 회로에 발생하는 원하지 않는 전압 또는 전류. 전기 노이즈는 일반적으로 비주기적(Sub-Cyclic)이고 충격적 특징으로 간주되어, 상대적으로 정상 상태 고조파 파형 왜곡과 구별됨 (IEEE Std 1050-2004 3.16)



B) 전자파 전달경로(커플링)

전도성 노이즈

매체에 따른 분류

방사성 노이즈

CE: Conducted Emission

RE: Radiated Emission

케이블

Through a Conductor



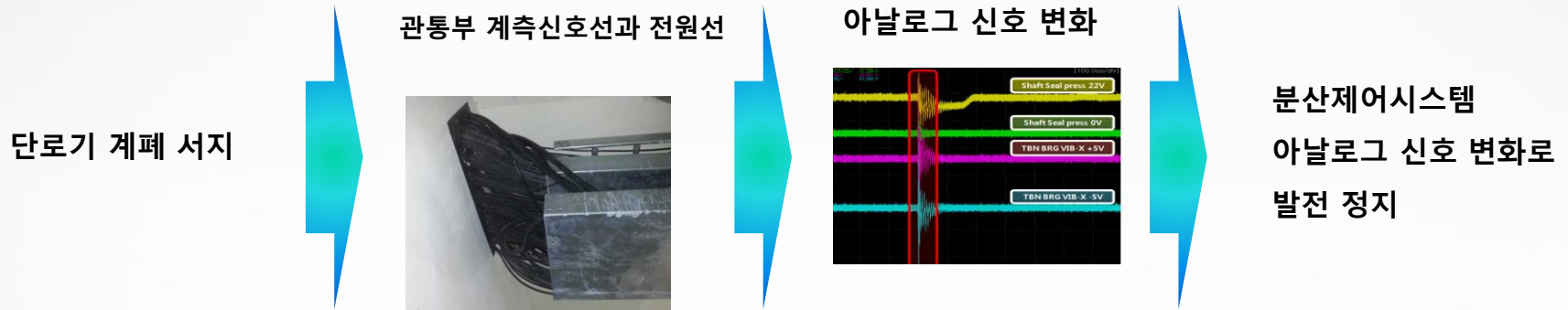
공기

Through the Air



C) 전자파 피해(Receptor)

● 양수 발전소 디지털 제어설비 개선 후 발전 정지



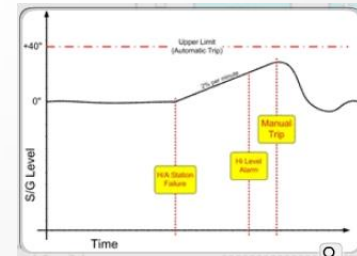
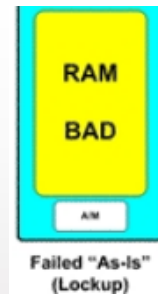
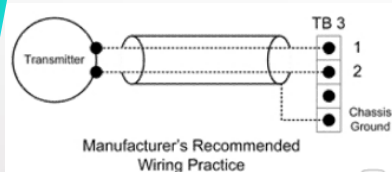
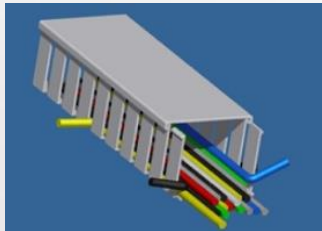
● 미국 S/G 수위제어계통 개선 후 원자로 정지(2005, EPRI TR 1016722)

설비개선 시 M/A Station
신호 케이블 덕트를
타 제어선과 공유

차폐(Shield)선이 없는
신호케이블을 재사용

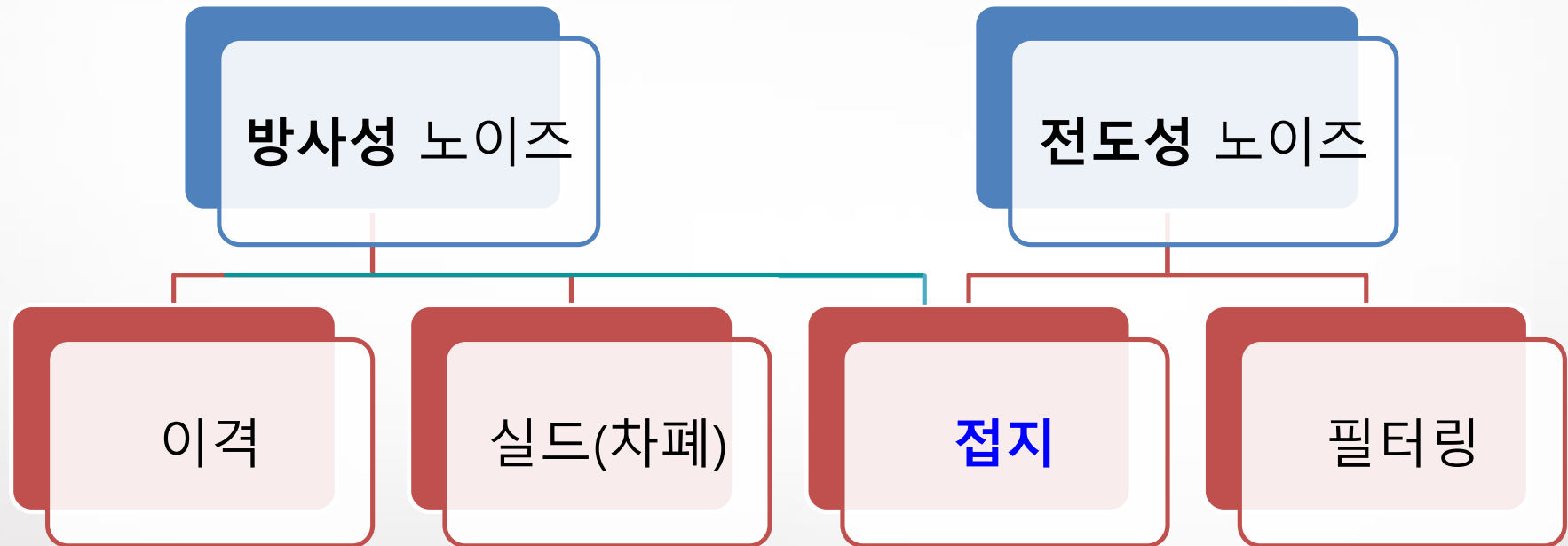
전자기파 간섭(EMI)에 의해
M/A Station 출력이 고정되는
고장발생

증기발생기 수위의 계속 증가로 수동정지



전자파 대책

- **접지**는 전도성 및 방사성 전자파를 억제할 수 있음
- **필터링**은 전도성 전자파를 감소하게 함
- **이격**은 방사성 전자파를 감소하게 함



1. 전자파적합성

전자기적합성 문서 검증

방출시험

4개 시험

내성시험
(CS114 등)

6개 시험

전력서지
내성시험

3개 시험

정전기방전
내성시험

1개 시험

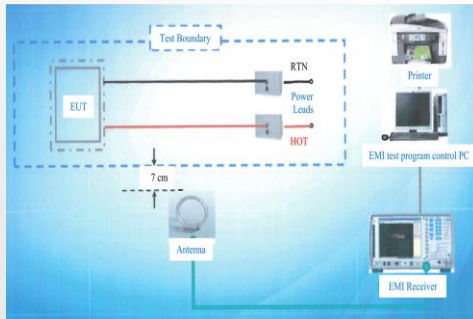


검증 서류 적합성 검토

- 기술 기준
- 시험 항목
- 시험 레벨
- 시험 결과(여유도)



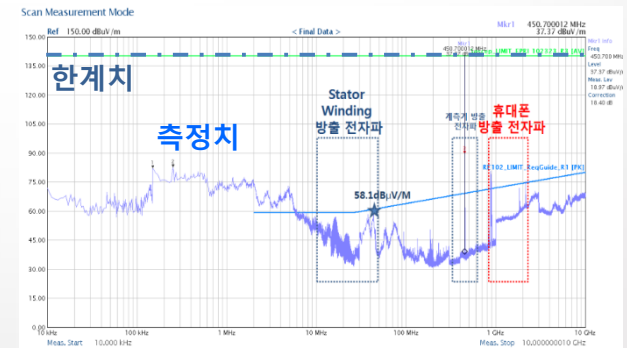
EMI Site Survey



[구성]



[측정]



[평가]



2

신호선 내성시험

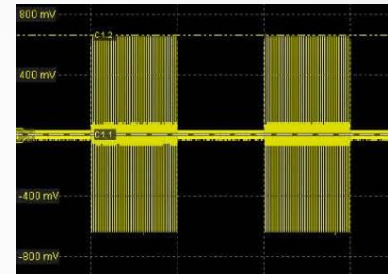
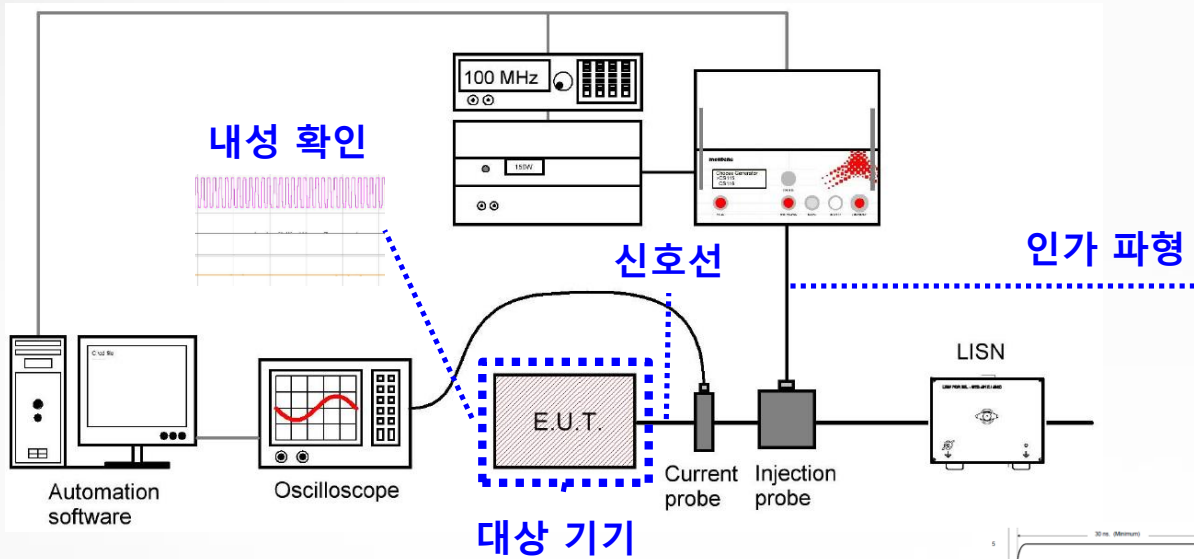
(RS114,115,116)

2. 신호선 내성시험

출처: Montena Test system

CS114, CS115, CS116 시험 구성

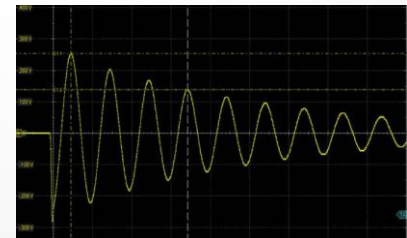
인가 파형



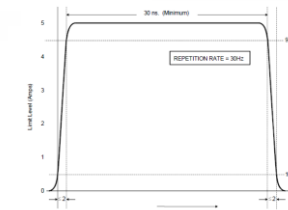
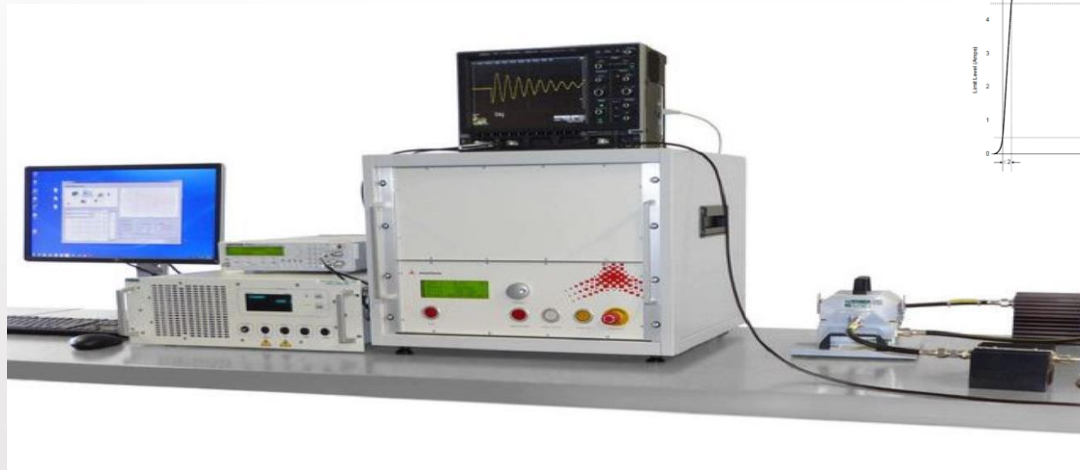
CS114
(RF에 의한 케이블 유도 노이즈 내성)



CS115
(유도성 부하 스위칭, 릴레이 채터링 내성)



CS116
(낙뢰, 스위치 과도현상 내성)





3

신호선 실드

1 계측신호선 실드 접지

신호선 실드 목적

- 계측신호선의 금속성 차폐는 노이즈 발생원(고전압 도체 등)과 제어신호선과의 ① 직접적인 용량성 결합을 차단하고, ② 유도성 결합을 완화하기 위하여 사용

신호선 실드 고려 사항

- 저주파 노이즈 간섭에 효과적인 관례가 일반적으로 고주파 노이즈 간섭에 효과가 없고, 고주파 노이즈 간섭에 효과적인 관례가 저주파 노이즈 간섭에 문제를 야기 시킬 수 있어, 실드 접지 종류의 장단점을 이해해야 함(IEEE Std 1050-2004 6.2)

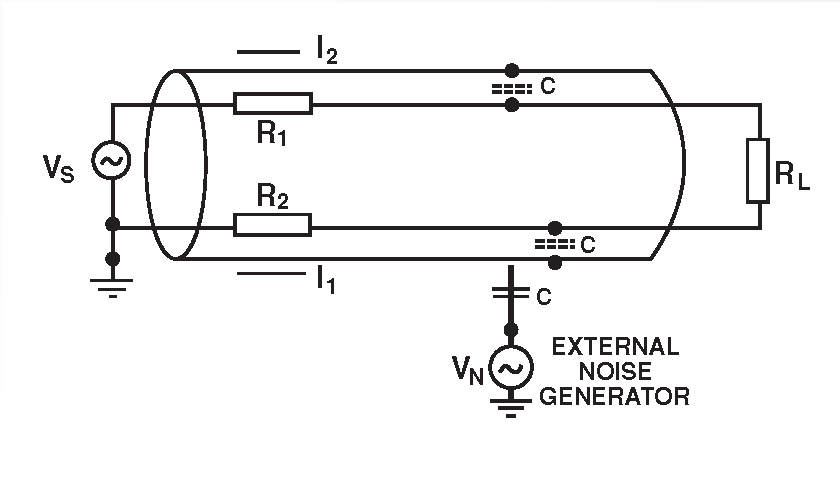
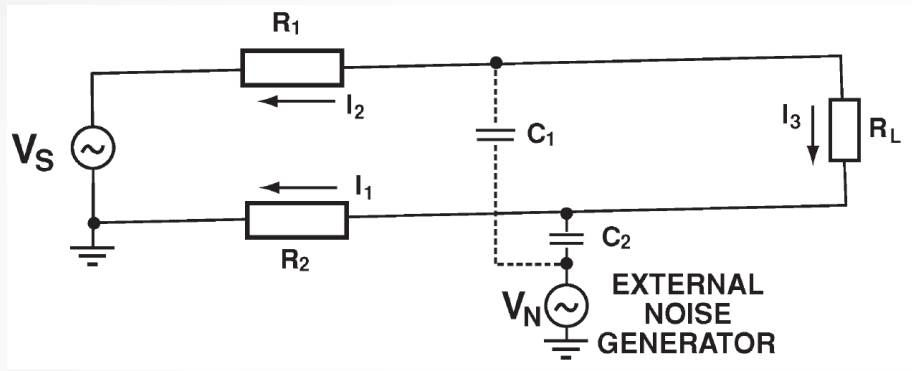
- 편단 접지 : 신호선 길이(L) < 0.15 파장(λ)
양단 접지 : 신호선 길이(L) > 0.15 파장(λ)
다중 접지 : 신호선 길이(L) > 0.05 파장(λ)

주파수	길이(L)	비고
60Hz	750Km	
1kHz	45km	
100kHz	450m	

[편단 접지 최대 허용 거리]

2 커플링에 대한 실드링

용량성 커플링에 대한 실드링



- 외부 노이즈 발생원이 **C1, C2**를 통해 **신호선과 결합** → 전류가 흘러 R_L에 노이즈 전압발생
- 노이즈 전압은 도체길이, 도체 임피던스, 노이즈 신호의 주파수 및 크기에 비례함

- 노이즈 전류가 **신호선보다 실드를 통해 흐름**
- 신호선과 실드간에 전위차가 없음(신호선과 실드가 같이 접지되어)
→ 신호전류가 신호선과 실드간 흐르지 않음

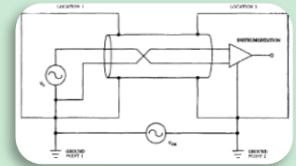
3 실드 접지 방법 (실드 접지 방법 선정시 제작사 권고가 우선임)

편단 접지

- One End Ground. 저주파수(60Hz 또는 낮은 고주파) 노이즈 제거에 효과적임
- 신호선 길이와 파장의 비율(L/λ) < 0.15, $L/\lambda = 0.05$ 부터 실드 능력 저하됨

양단 접지

- Both End Ground. 고주파수 노이즈 제거에 효과적임
- 신호선 길이와 파장의 비율(L/λ) > 0.15



다중 접지

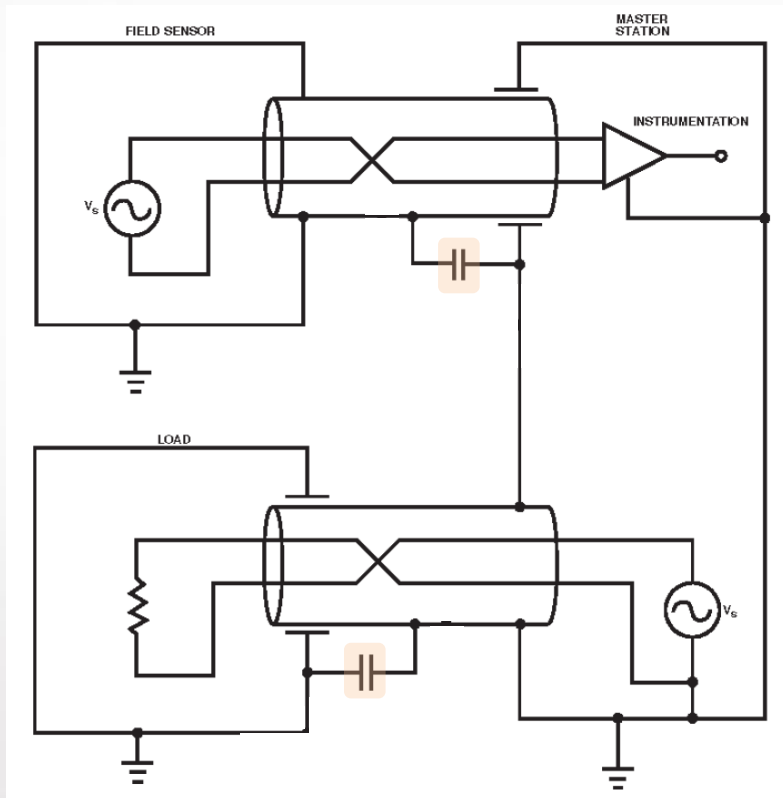
- Multi Points Ground. 높은 고주파수에서 공진효과 방지할 수 있음
- 신호선 길이와 파장의 비율(L/λ) > 0.05 : 낮은 커패시터나 도체로 연결함

이중실드 접지

- Double Shielding Ground. 개별실드 및 전체실드로 실드링 효과 높음
- 이중실드 단점은 신호케이블 가격상승 및 현장 시공 어려움

4 디지털제어설비의 계측신호선 실드 접지

- 실드선과 접지간을 커패시터로 연결함
 - ✓ 저주파수 노이즈: 커패시터가 개방(Open) → 대지 루프 노이즈를 차단하여 **편단 접지**
 - ✓ 고주파수 노이즈: 커패시터가 단락(Short) → 노이즈를 신속히 방출하는 **양단 접지**



[편단 및 양단 실드 접지의 조합]

- 커패시터는 0.1 ~ 0.01 μF 사용
 60Hz에서 0.1 μF 사용시 26.5k Ω
 리액턴스로 가정(IEEE Std 1050-2004 6.2.7)

주파수	0.1 μF	0.01 μF
60Hz	26.5k Ω	265k Ω
6kHz	265 Ω	2.65k Ω
1MHz	1.59 Ω	0.159 Ω

[주파수에 따른 커패시터의 리액턴스 변화]



4

영향평가

(실드 신호선에 대한 전도성 내성시험)

1 실드링 효과(Shield Effectiveness)

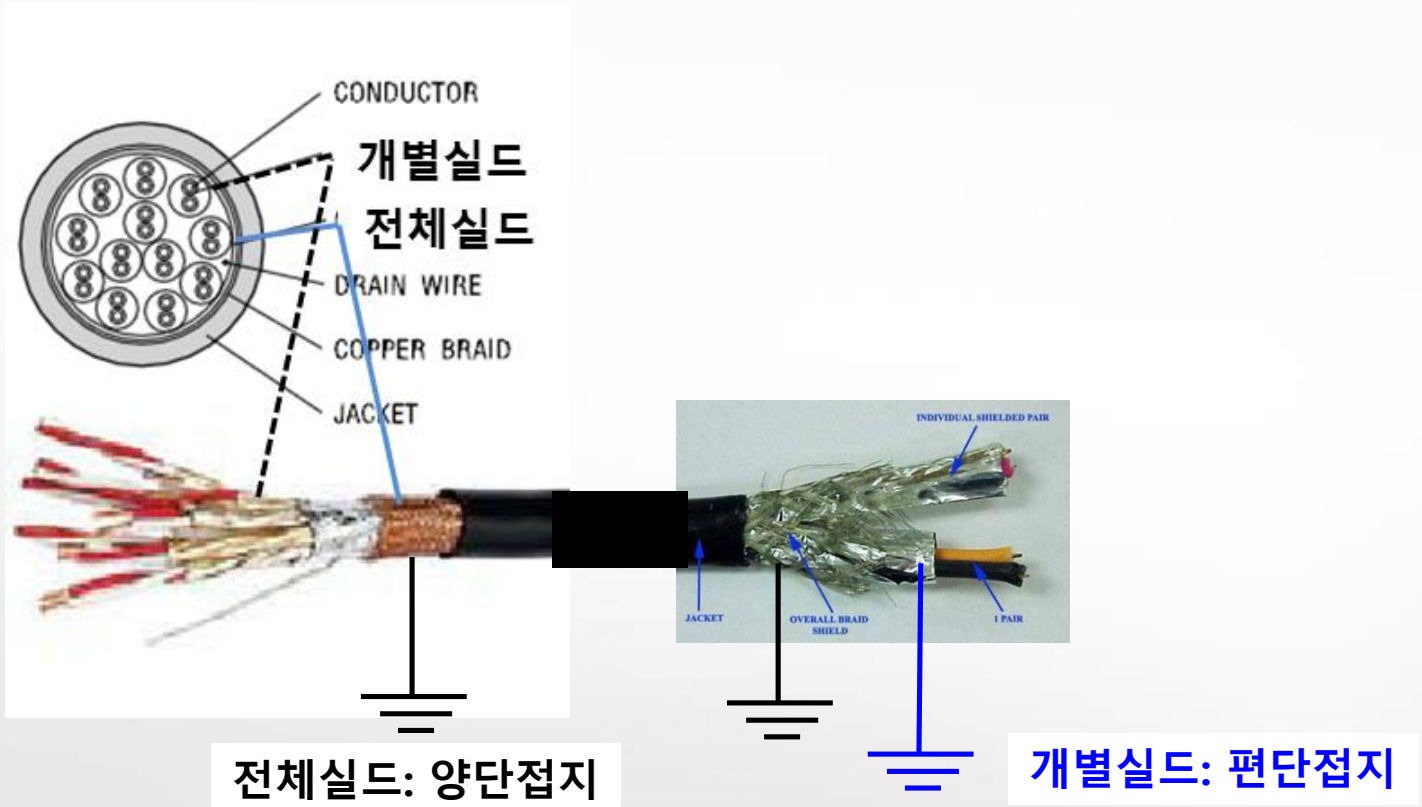
● IEEE 1050 케이블 실드링 효과 기술

	60 Hz Magnetic field attenuation	100 kHz Electric field attenuation
Cable type	(dB)	(dB)
Parallel wires in air	0 (Ref.)	0 (Ref.)
Twisted pair (9 turns/m)	23	—
Twisted pair (36 turns/m)	43	—
Copper-braided coax (85% coverage)	—	40
Spiral-wrapped copper tape	—	51
Parallel wires in aluminum conduit	3.3	66
Parallel wires in electrical metallic tubing (ferrous)	16.5	70
Parallel wires in rigid galvanized	32	79

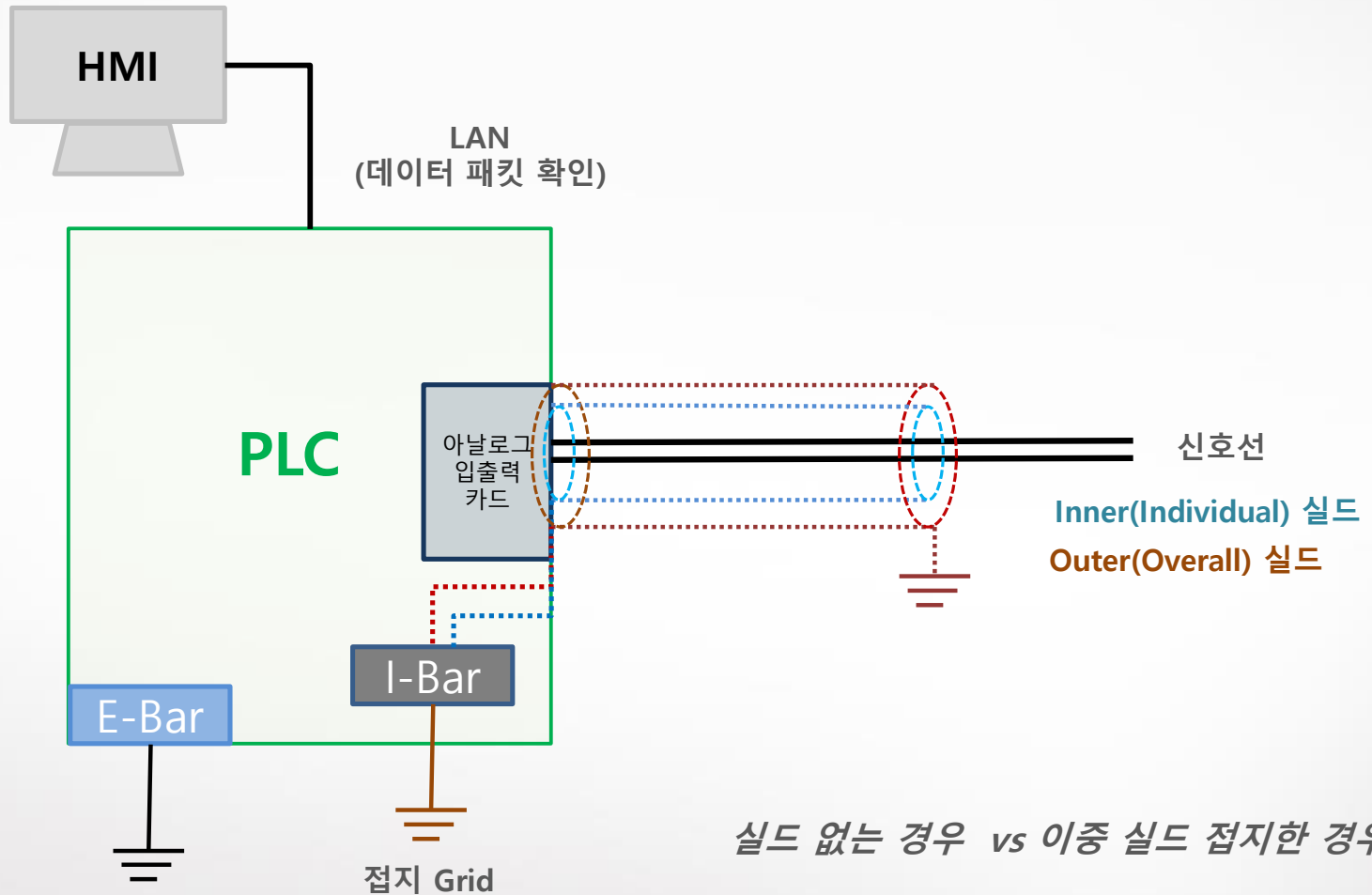
2 이중실드 접지 방법

6.2.8 Double shielding

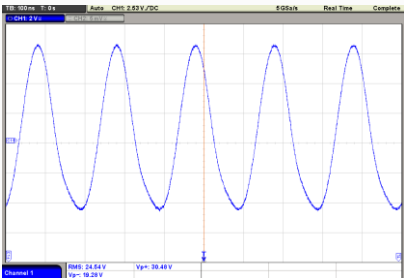
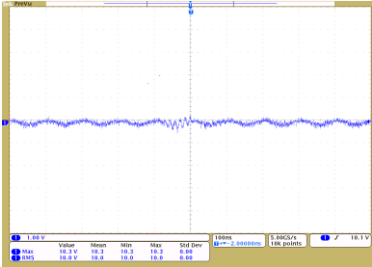
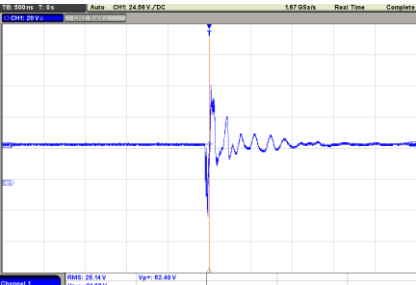
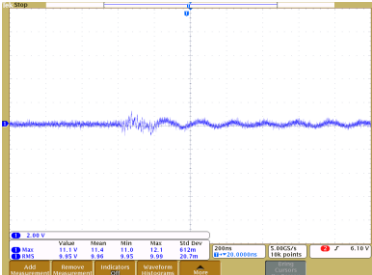
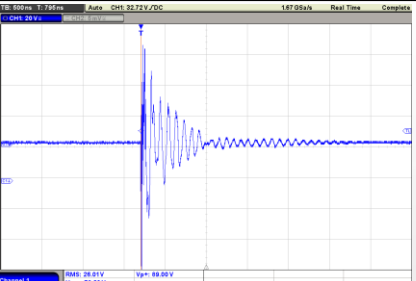
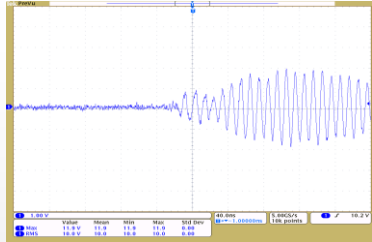
Cables with individually shielded pairs and an overall cable shield can utilize both grounding methods for better shielding effectiveness. The **individually shielded** pairs can have their shield grounded at one end for low-frequency EMI protection while the **overall shield** can be grounded at both ends to protect the individually shielded pairs from high-frequency interference. Practical disadvantages of this method are additional cable cost and difficulty in ensuring consistent and proper field installation.



3 신호선 내성시험에서 이중실드 효과를 확인 위한 시험 구성



4 신호선 내성시험에 대한 이중실드 접지 효과 평가

구분	비 실드선	이중 실드선 접지
CS114	 <p>6V</p>	 <p>0.22V</p>
CS115	 <p>38V</p>	 <p>1.22V</p>
CS116	 <p>65V</p>	 <p>1.22V</p>



5

결론

- ♣ 원자력발전소에 안전 기기를 설치하는 경우 전자파 내성 검증을 수행함

- ♣ 신호선 전도성 내성(S114,115,116) 시험은 신호선에 외부 노이즈가 인가될 때 기기가 이를 견딜 수 있는지 확인함

- ♣ 신호선 실드는 이중실드 접지를 사용할 경우 접지 효과가 우수함
 - ① 개별(Individual) 실드는 저주파 노이즈를 저감하기 위해 편단 실드 접지하고,
 - ② 전체(Overall) 실드는 고주파 노이즈를 저감하기 위해 양단 실드 접지함

- ♣ 신호선 전도성내성(S114,115,116) 시험은 신호선 이중실드가 접지된 경우 신호선이 연결된 입출력 카드 등에 영향이 미비하여 시험 면제 가능함



**THANK
YOU**

人不知而不溫，不亦君子呼。

사람들이 알아주지 않아도 섭섭해하지 않으니 어찌 군자가 아니라

-논어 학이편 1장-