

전원 공급 장치 설계 세미나

고전압 기기의 공간 거리 및
연면 거리의 이해

저자

Wei Zhang 및 Thomas LaBella



개요

- 연면 거리(CPG), 공간 거리(CLR) 및 기타 관련 용어의 정의
- 다양한 절연 등급 레벨 및 설계 가이드
- 기기별 연면 거리와 공간 거리를 결정하는 흐름도
- 고전압 인쇄 회로 기판(PCB) 간격 표준 규격 및 가이드
- 고전압 간격에 대한 기타 예외 사항

고전압 애플리케이션

전기 자동차
클래스 D 오디오



어댑터 및
충전기



서버/텔레콤/무정전 전원 공급
장치



1차측 회로 인터페이스

솔리드 스테이트 조명



솔라 인버터



모터 드라이버
(가변 주파수 구동)



연면 거리 (CPG) 및 공간 거리 (CLR)

연면 거리 (CPG) :
동작 전압에서 절연 파괴나 추적 없음
(장 기간)



- 두 전도성 부품 사이의 고체 절연 재료 **표면**을 따라 최단 거리
- **오염, 습도, 응결**이 가장 중요함
- 다음을 제공하기 위한 치수:
 - **평균 제곱근(RMS) 작동 전압**
 - **오염 수준**
 - **재료 그룹**(절연의 플래시오버나 고장이 발생하지 않음)

공간 거리 (CLR) :
필요한 과도 현상을 견딜 수 있는 공기 이온화
또는 아크가 없음 (단기간)

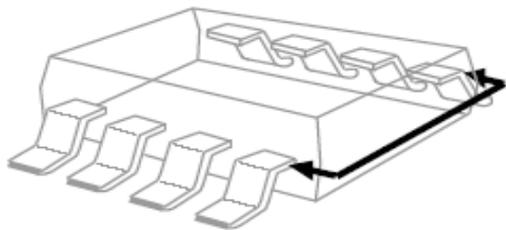


- 두 전도성 부품 사이의 **공기** 중 최단 거리
- **기압(고도), 온도**가 가장 중요함
- **일시적인 과전압**으로 인한 고장 가능성을 고려한 치수입니다.*
- 해발 2,000m의 곱셈 계수
 - **예를 들어, 5,000m에서 x1.48**

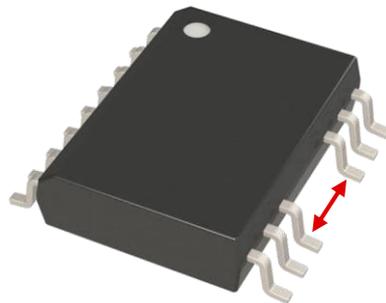
*과도 전압 - 수 밀리초 이하의 짧은 시간 동안의 과전압

CPG 및 CLR 관계

- CPG와 CLR 사이에는 물리적 관계가 없습니다.
 - 대부분의 경우 CPG는 연결된 CLR보다 작을 수 없습니다.
- 무엇이 충분할까요? 크기와 비용 대비 가능한 한 최대화



- 코너 핀이 패키지 가장자리에 가까운 패키지 측면에 CPG를 배치할 수 있습니다.



- 제대로 작동하는 경우에만
CPG = CLR

재료 그룹 및 CTI 범위

- 재료 그룹은 비교 추적 인덱스(CTI)에 따라 달라집니다.
- CTI는 절연 재료가 50방울(30초당)의 오염된 물(0.1% 염화암모늄)을 견딜 수 있는 최대 V_{RMS} 입니다.
 - 추적 없음(0.5A 미만)(전도성 경로 형성)

재료 그룹	CTI 범위(V_{RMS})
재료 그룹 I	$CTI \geq 600$
재료 그룹 II	$400 \leq CTI < 600$
재료 그룹 IIIa	$175 \leq CTI < 400$
재료 그룹 IIIb	$100 \leq CTI < 175$ 또는 지정되지 않은 경우

TI 절연 집적 회로

대부분의 FR4 PCB

*재료 그룹은 국제전기기술위원회 IEC 60112에 따른 테스트 데이터 평가를 통해 검증됩니다.

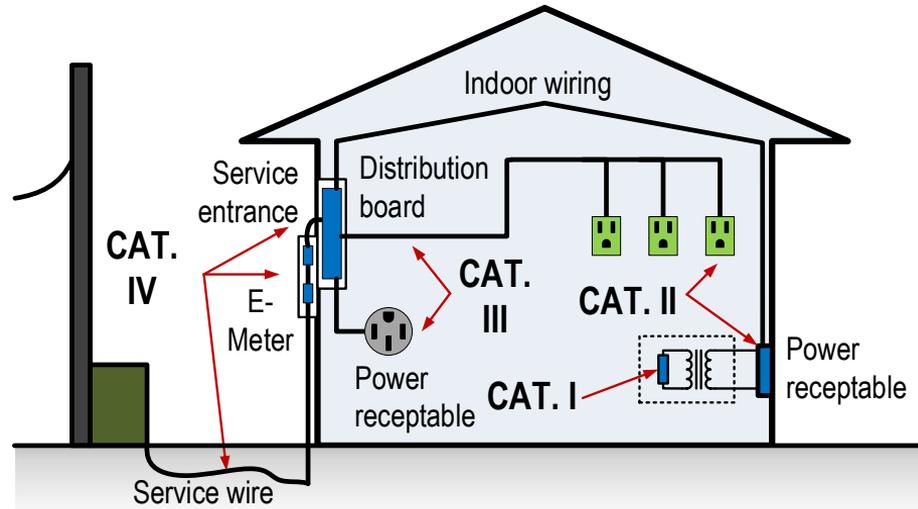
오염 수준

클래스	설명	예
오염 수준 1	<ul style="list-style-type: none"> 오염이 없거나 건조하고 비전도성 오염만 있습니다. 	<ul style="list-style-type: none"> 밀폐형 구성품(코팅 PCB), 클린룸
오염 수준 2	<ul style="list-style-type: none"> 간헐적인 응결로 인해 일시적으로 전도성이 증가합니다. 	<ul style="list-style-type: none"> IEC 60950-1 또는 IEC 62368-1에 따른 통신 인클로저 랩, 사무실
오염 수준 3	<ul style="list-style-type: none"> 전도성 오염이 발생할 수 있습니다. 예상되는 응결로 인해 전도성이 될 수 있는 비전도성 오염 물질 	<ul style="list-style-type: none"> 산업용, 난방이 되지 않는 공장 공간 및 농장
오염 수준 4	<ul style="list-style-type: none"> 전도성 먼지, 비 또는 기타 습한 환경으로 인해 지속적인 전도성이 발생합니다. 	<ul style="list-style-type: none"> 실외 애플리케이션

과도 과전압 범주

- 과전압 범주는 필요한 임펄스 내전압이라고도 합니다.
- 저전압 주전원에서 직접 전원이 공급되는 장비에 사용되는 **확률론적 함의**

범주	설명	예
IV	원래 설치	<ul style="list-style-type: none"> • 전기 계량기 • 4kV_{PK}*
III	사용 가능 여부가 특별한 요구 사항에 따라 달라질 수 있는 고정 설치	<ul style="list-style-type: none"> • 유틸리티 패널 • 분배 보드 • 2.5kV_{PK}*
II	고정 설치에서 공급되는 에너지 소비 장비	<ul style="list-style-type: none"> • 콘센트, III에서 10m 거리 • 1.5kV_{PK}*
I	과도 전압을 낮은 수준으로 제한하기 위한 조치가 취해진 회로 연결	<ul style="list-style-type: none"> • 서모스탯, 스프링클러, • $24V_{AC}$ • 0.8kV_{PK}*



*주거용 120/240V_{AC} 라인 - 중성 라인, 과전압 범주 II 가정 시

다양한 전압 등급과 최종 기기를 위한 단일 솔루션은 없음

절연 시스템에서의 사용자 안전		PCB
<ul style="list-style-type: none"> IEC 60664-1 - $<1.5\text{kV}_{\text{DC}}$ 또는 $<1\text{kV}_{\text{AC}}$ 시스템용 절연 조율 <ul style="list-style-type: none"> CPG 및 CLR, 전기 강도 테스트 		제대로 작동하거나 기능적으로 작동하는 경우에만 해당
IEC 62368-1 (IEC 60950-1)*	텔레콤, 서버, 오디오, 비디오, 통신, 클라우드 컴퓨팅	IPC(Institute for Printed Circuits) <ul style="list-style-type: none"> IPC 2221 – 일반 요구 사항 IPC 9592 – 컴퓨터/텔레콤
IEC 61800-5	모터 드라이브	IEC 60664-1 PCB를 위한 CPG 지침
IEC 62109-1	태양광	IEC 62368, 비코팅, 코팅의 이격 거리

*IEC 60950-1은 2020년 12월에 철회되었습니다.

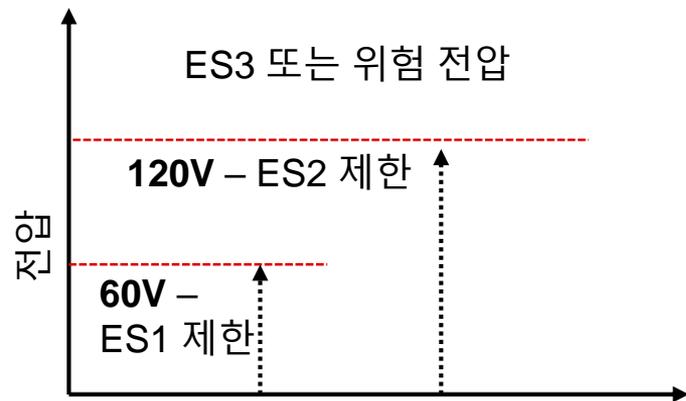
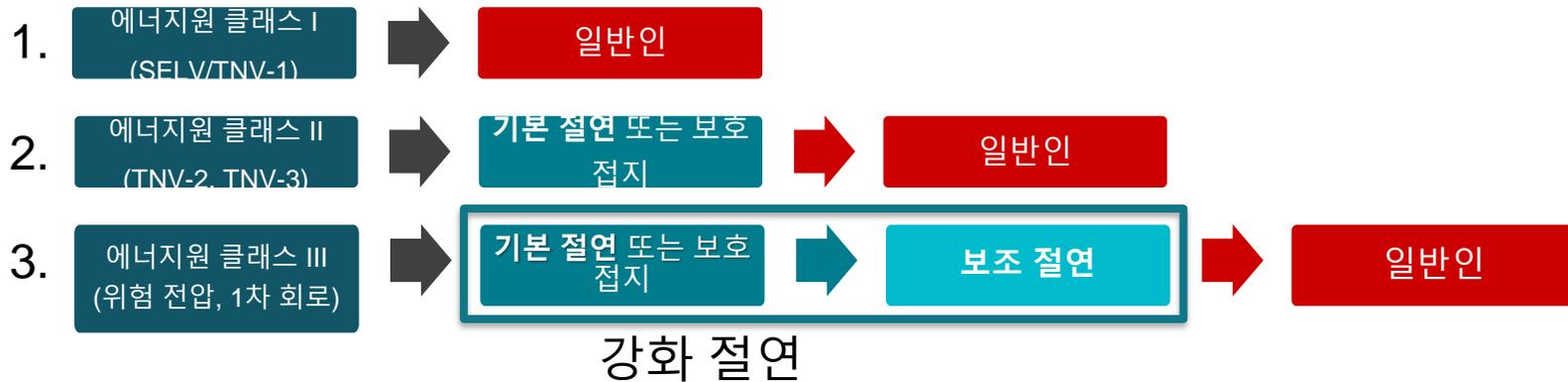
CPG 및 CLR - 중요한 절연 매개 변수

- 절연 부품 (예: 절연 게이트 드라이버)에 대한 절연 표준은 **CPG 및 CLR을 다루지 않습니다**. 대신 전기적, 기계적 스트레스, 열 및 환경적 영향을 견딜 수 있는 **절연 장벽**의 기능 확보 해야 합니다. 예:
 - 유럽의 경우 IEC 60747-1(Verband der Elektrotechnik [VDE] 0884-11), 미국의 경우 Underwriters Laboratories(UL) 1577, 중국의 경우 China Quality Certification Center (CQC) GB4943.1. 이러한 구성 요소 절연 표준은 V_{IOSM} , R_{IO} , C_{IO} , q_{pd} , 절연 통과 거리(DTI), 공통 모드 과도 내성(CMTI) 등을 다룹니다.
- 그러나, **절연 등급** (기본, 강화, 기능성 절연)은 CPG 및 CLR에 **중요합니다**.

절연 등급의 유형

- 기능적 절연 또는 PCB 고전압 간격
 - 회로의 올바른 작동을 위해 - 접지 바운스, 고전압, 2차 회로 간의 과도 상태
- **기본 절연**
 - 정상 및 비정상 작동 조건 모두에서 감전으로부터 보호하는 단일 레벨 절연
- 보조 절연
- 이중 절연
 - 정상, 비정상 및 **단일 결함 조건**에 대한 기본 및 추가 보완 사항
- **강화 절연**
 - 이중 절연과 동일한 등급을 제공하는 단일 절연 시스템

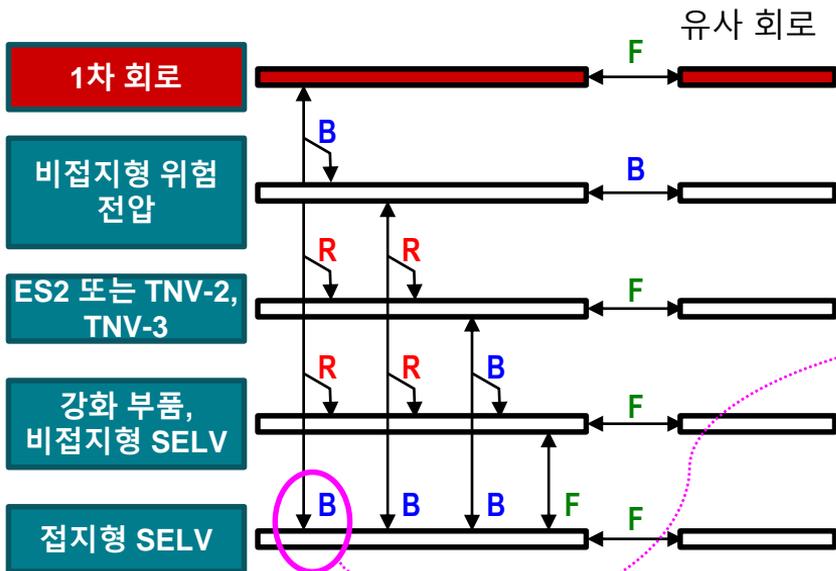
절연 등급 지침



IEC 62368-1	IEC 60664-1, IEC 60950-1
ES1	안전 초저전압(SELV)
ES2	TNV-1, TNV-2, TNV-3*
ES3	위험, 1차 회로(AC 주전원에 연결)
일반인	사용자

*IEC 60950-1의 섹션 2.3은 TNV-1, TNV-2 및 TNV-3을 정의합니다.

절연 등급 예



- **F**: 기능성 절연, **B**: 기본 절연, **R**: 강화 절연
- 그림 2H IEC 60950-1 2013

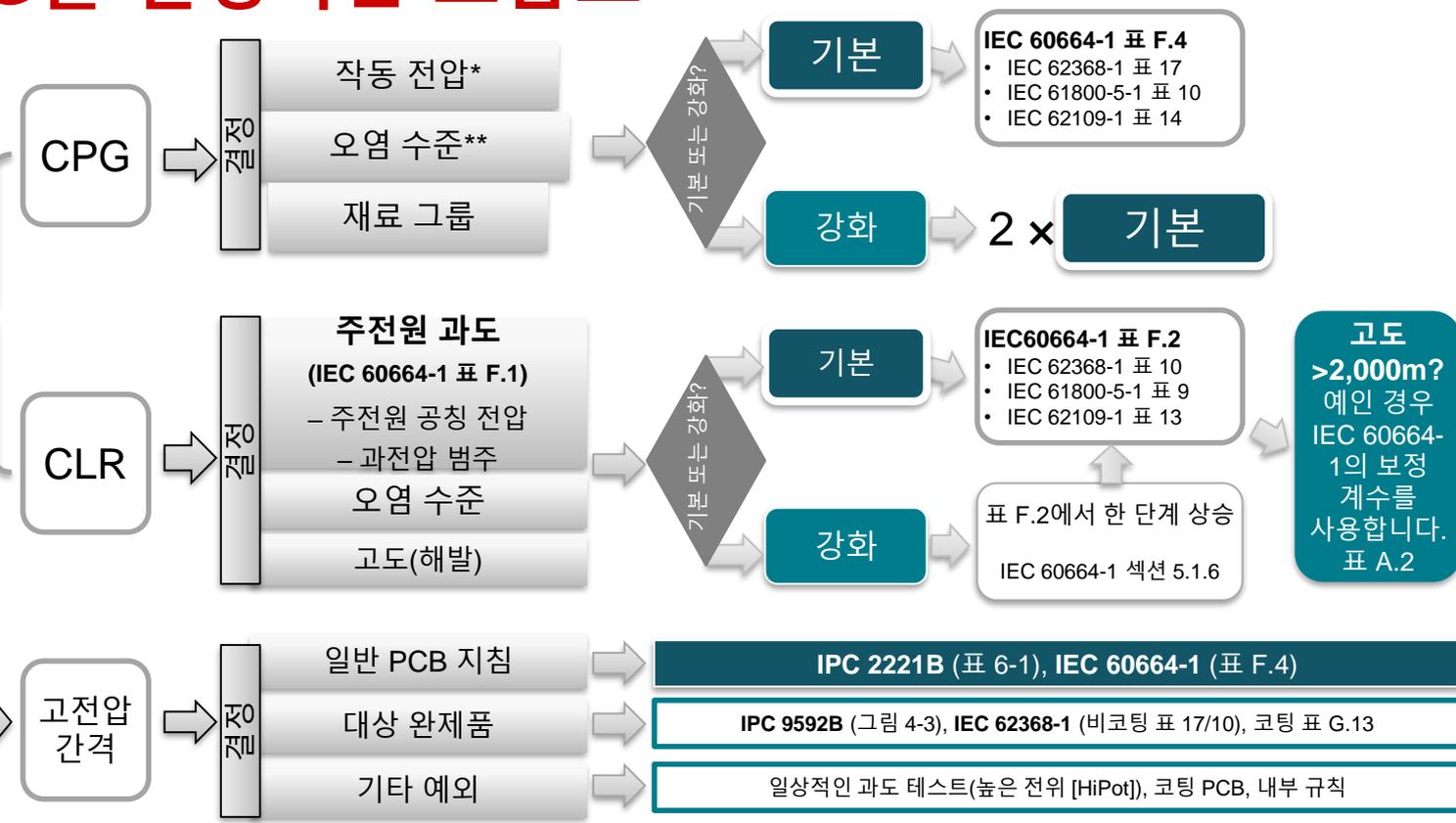
등급	분리되는 부품		예제
F	SELV	SELV	<60V 브릭 모듈
	강화 부품		
B	기본, ES2, TNV-2/-3 위험 전압	SELV 접지형	<ul style="list-style-type: none"> • >60V DC/DC • 접지형 12V 출력을 지원하는 AC-DC 정류기 • 온보드 배터리 충전기
	기본	비접지형 위험	
R	기본 또는 위험 전압	SELV 비접지형	AC-DC 정류기(-48V 출력 지원)
	ES2, TNV-2/-3		>60V DC/DC
	1차 회로	강화 부품	온보드 배터리 충전기

CPG 및 CPG를 결정하는 흐름도

시작

감전으로부터 안전을 위한 절연 시스템

PCB 고전압 간격 - 기능적이고 적절한 작동



*작동 전압: 절연을 통해 AC 또는 DC 전압의 최고 RMS 값, IEC 60664-1 섹션 3.5

**코팅된 PCB는 IEC 62109-1(IEC 60664-3 준수) 또는 IEC 62368에 따라 오염도 1로 줄이거나 표 G.13을 사용하여 CPG 거리를 줄이는 데 도움이 될 수 있습니다.

주전원 과도 전압 – IEC60664-1 표 F.1

- AC 주전원의 과도 전압 결정
 - 다른 모든 최종 장비의 경우 IEC 60664-1을 참조하여 과도 전압을 지정합니다.

전압 라인- 중성 라인 최대 V_{RMS} 까지	주전원 과도/정격 임펄스 전압(V_{PK})*			
	과전압 범주			
	I	II	III	IV
• ≤ 50	330	500	800	1,500
• ≤ 150 , 예: 120(미국)	800	1,500	2,500	4,000
• ≤ 300 , 예: 230(EU, 중국, 일본)	1,500	2,500	4,000	6,000
• ≤ 600 예: 산업용 모터 또는 선박 동력	2,500	4,000	6,000	8,000

- 짧은 일시적 과전압으로 인한 과도 전압 확인:
 - 최대 5초 동안 공칭 라인-중성 라인 전압 +1,200V (IEC 60664-1 5.3.3.2.3)

*임펄스 내성 테스트는 1.2/50 μ s 파형의 전압으로 수행됩니다.

간극 – IEC 60664-1 표 F.2

필요한 과도 전압 (kV _{PK})	최소 공간 거리, CLR (mm)*		
	오염 수준		
	1	2	3
0.5	0.04	0.2	0.8
1.5	0.5(0.76)		0.8
2.5	1.5(1.8)		
4.0	3.0(3.8)		
6.0	5.5(7.9)		

고도(m)	보정 계수
2,000	1.0x
3,000	1.14x
4,000	1.29x
5,000	1.48x
6,000	1.70x
10,000	3.02x

- 괄호 안의 간극은 서버 텔레콤에 대한 IEC 62368-1 표 10의 간극입니다.
- 이 간극은 최대 2,000m 고도에서 사용하기 위한 기본 절연에 대해 IEC 60664-1 표 F.2의 불균일 전계를 가정합니다.
- 강화 절연의 경우, 표 F.2의 정격 임펄스 전압에 지정된 대로 치수 CLR을 지정하되 **한 단계 더 높게** 지정합니다.
- 다른 모든 최종 기기의 경우 IEC 60664-1을 참조하여 간극을 지정합니다.

연면 – IEC60664-1 표 F.4

V _{RMS} [*] (V)	트래킹으로 인한 Failure을 방지 위한 CPG(mm)**			
	오염 수준			
	1	2		
	모든 재료 그룹	재료 그룹		
I		II	III	
63	0.20	0.63	0.90	1.25
400	1.0	2.0	2.8	4.0
800	2.4	4.0	5.6	8.0
1,000	3.2	5.0	7.1	10.0

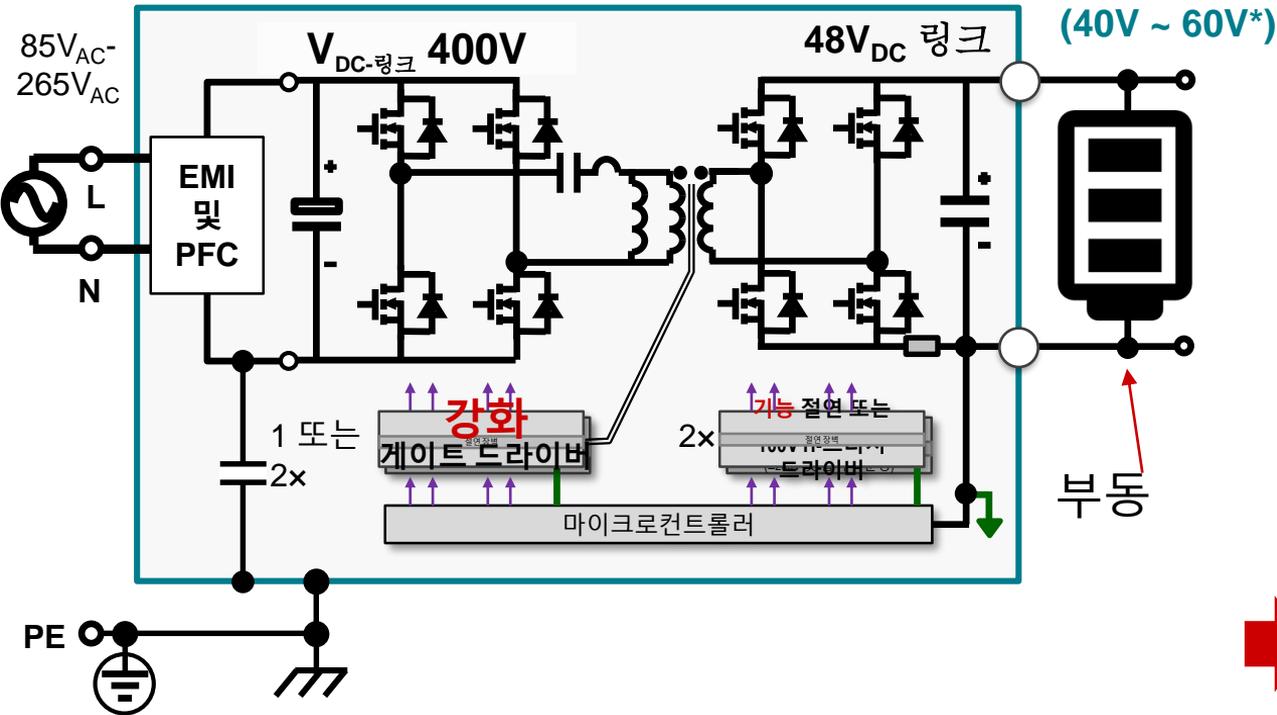
- 강화 절연의 CPG는 표 F.4의 기본 절연용 CPG의 **2배**가 되어야 합니다.
- 표 F.4의 값은 기존의 경험적 데이터를 기반으로 하며 대부분의 애플리케이션에 적합합니다. 그러나 기능 절연 경우 표 F.4에 나와 있는 값 이외의 CPG 값이 적절할 수 있습니다.
- 다른 모든 최종 장비의 경우 IEC 60664-1을 참조하여 연면 거리를 지정합니다.

*선택한 전압은 장비의 최고 정격 전압에 적합해야 합니다.

**가장 가까운 두 점 사이에 선형 보간을 사용할 수 있습니다.

예시 1번: 텔레콤 AC/DC 프론트 엔드

AC/DC-DC/DC



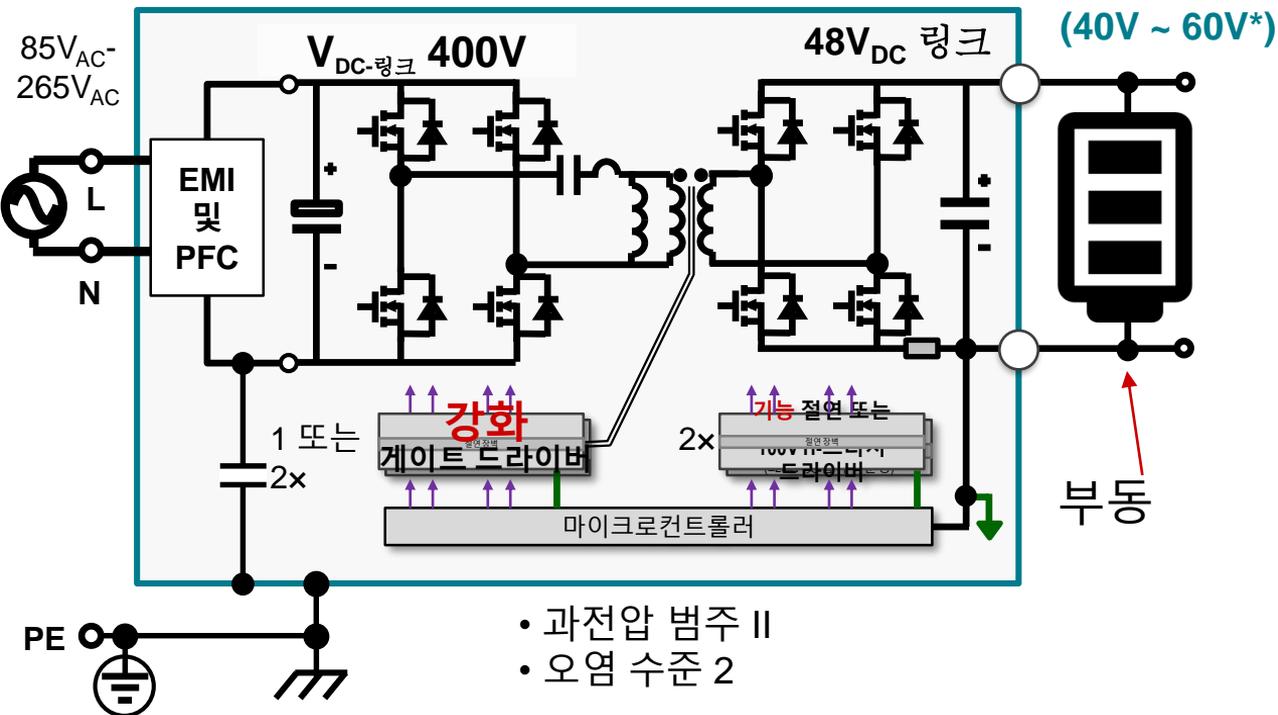
등급	분리되는 부품	
F	SELV	SELV
	강화 부품	
B	1차, ES2, TNV-2, TNV-3, 위험 전압	SELV 접지형
	1차	
R	1차 또는 위험 전압	SELV 비접지형
	ES2, TNV-2, TNV-3	



*-48V_{DC} 전력 시스템 전압 범위는 40.5V_{DC} ~ 57V_{DC} (ETSI EN 300 132-2)

예시 1번: 텔레콤 AC/DC 프론트 엔드

AC/DC-DC/DC

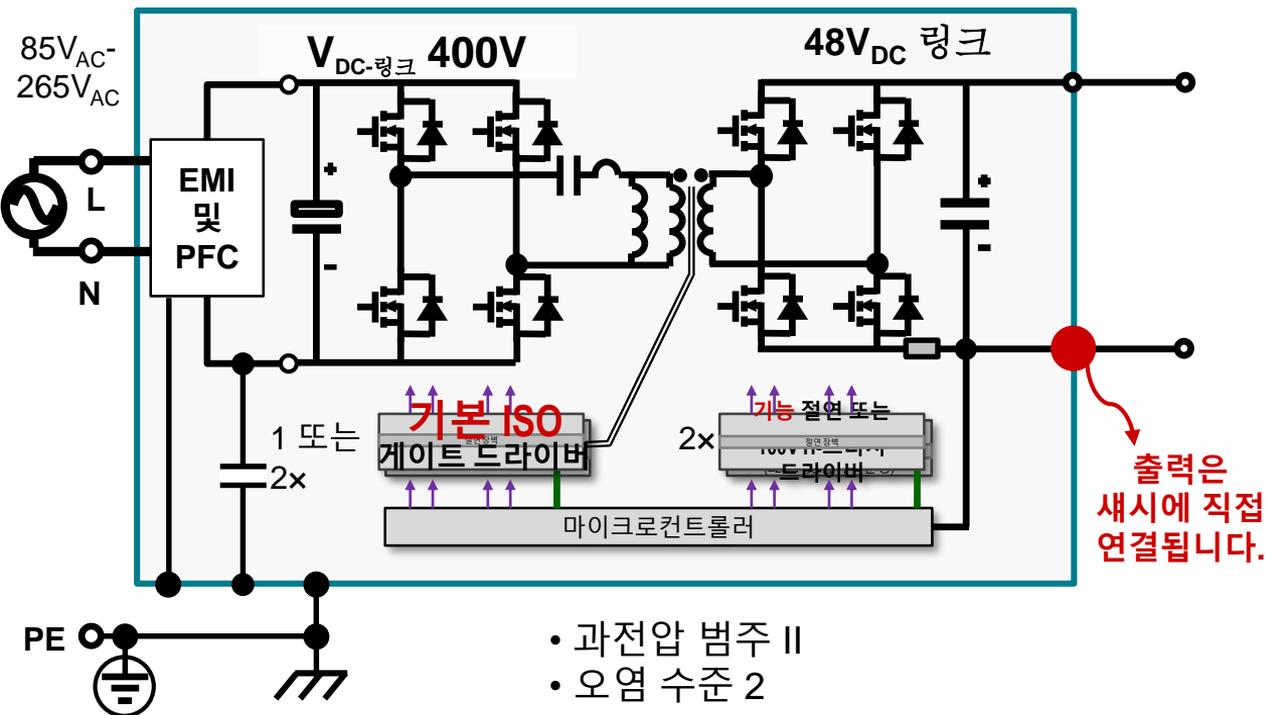


품목	필수 항목
절연 등급	강화
AC 주전원 과도	4,000V
5,000m에서의 공간 거리	5.7mm (3.8mm × 1.48)
연면(MG I)	4.0mm (2mm × 2)
연면(MG II)	5.6mm (2.8mm × 2)
연면(MG III)	8.0mm (4.0mm × 2)

*-48V_{DC} 전력 시스템 전압 범위는 40.5V_{DC} ~ 57V_{DC} (ETSI EN 300 132-2)

예시 2번: 12V 출력을 지원하는 서버

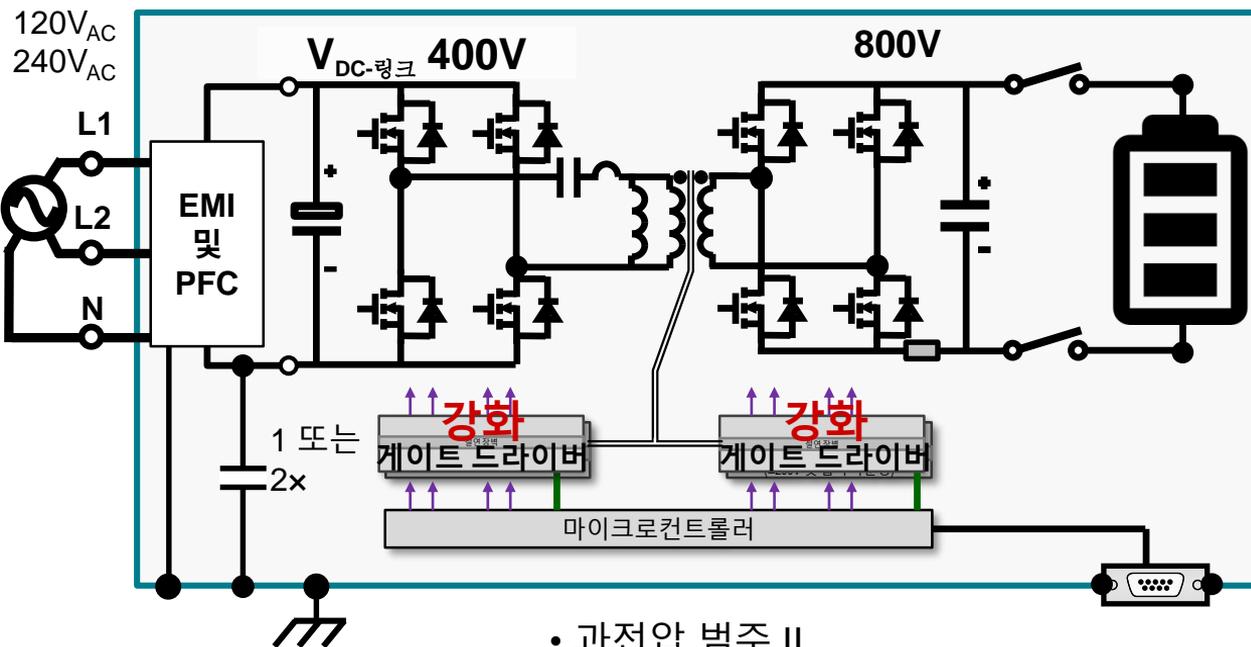
AC/DC-DC/DC



품목	필수 항목
절연 등급	기본
AC 주전원 과도	2,500V
5,000m에서의 공간 거리	2.7mm (1.8mm × 1.48)
연면(MG I)	2mm
연면(MG II)	2.8mm
연면(MG III)	4.0mm

예시 3번: 온보드 배터리 충전기

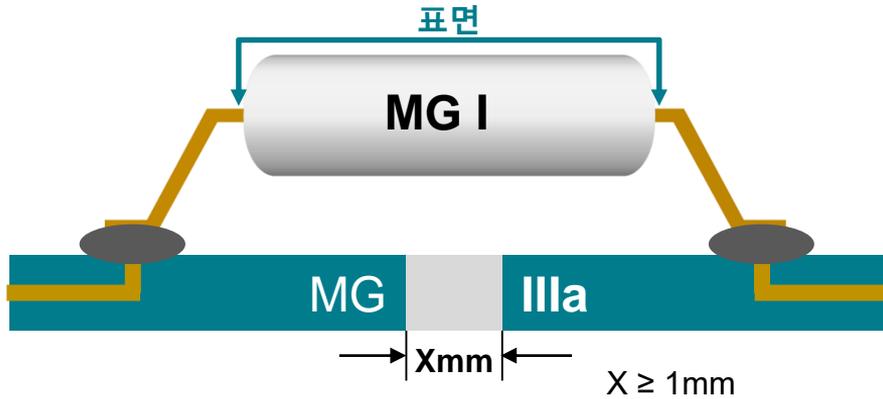
AC/DC-DC/DC



- 과전압 범주 II
- 오염 수준 2

품목	필수 항목
절연 등급	강화
AC 주전원 과도	2,500V(미국) 4,000V(EU)
5,000m에서의 공간 거리	2.3mm 또는 4.5mm (1.5 또는 3mm × 1.48)
연면(MG I) 400V	4.0mm (2mm × 2)
연면(MG II) 400V	5.6mm (2.8mm × 2)
연면(MG I) 800V	8.0mm (4mm × 2)
연면(MG II) 800V	11.2mm (5.6mm × 2)

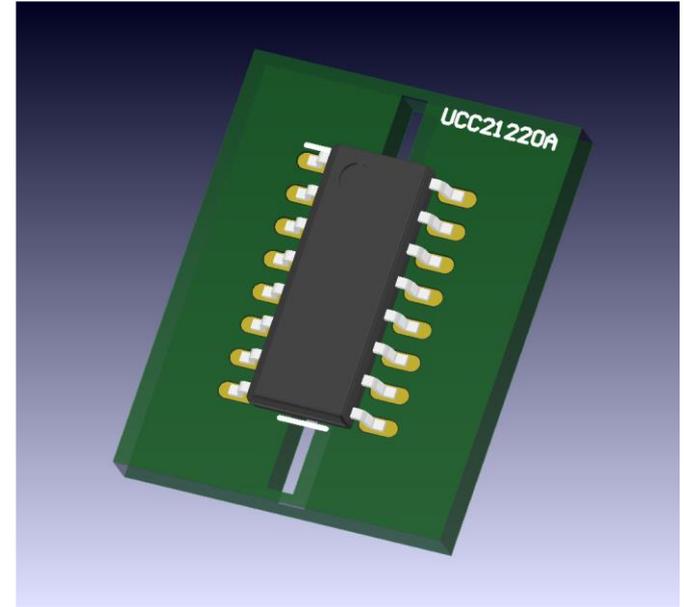
PCB 연면을 증가시키기 위한 PCB 연면거리



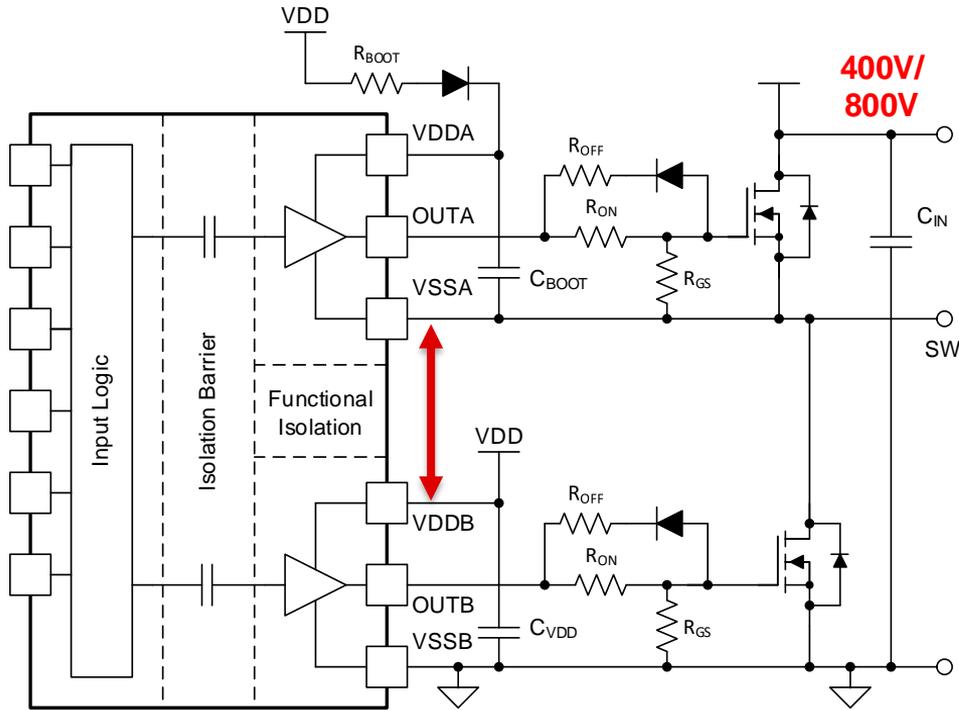
오염 수준	치수 × 최소값*
1	0.25mm
2	1.0mm
3	1.5mm

*IEC 60664-1 섹션 6.2 Ed 2.0

PCB 컷아웃 예시



고전압 간격: PCB

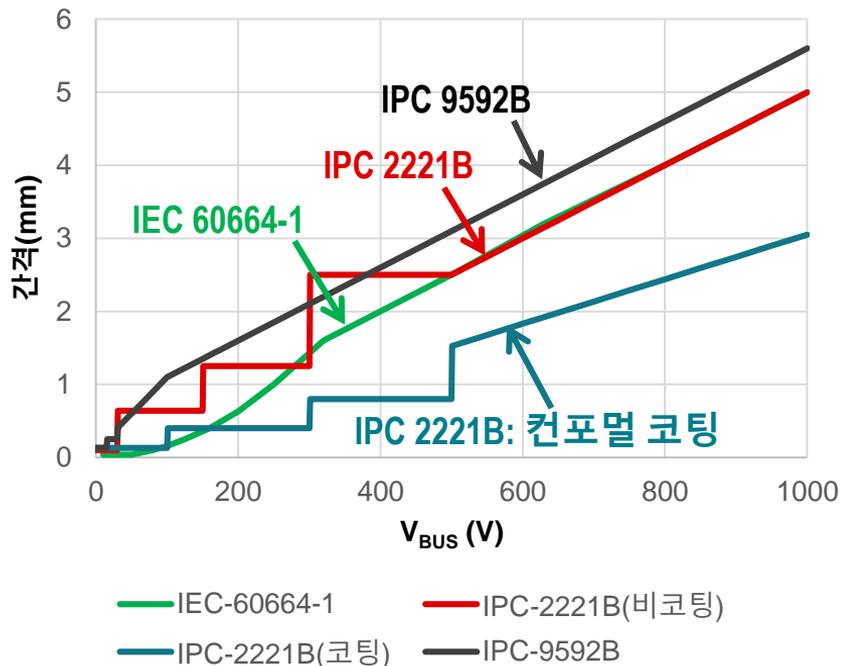


- IEC 60664-1은 트래킹으로 인한 장애를 방지하기 위한 CPG 지침을 제공합니다.
- IPC-2221 “인쇄 기판 설계에 대한 일반 표준”
 - 이 표준은 환경 조건 및 컨포멀 코팅을 기반으로 PCB 간격에 대한 광범위한 지침을 제공합니다.
- IPC-9592 “컴퓨터 및 통신 산업을 위한 전력 변환 장치에 대한 요구 사항”
 - 비절연 도체의 간격 요건에 대한 지침 제공

*UL 796, “안전 표준: 인쇄 배선 보드”에서는 수직 레이어 간격에 대한 지침을 제공합니다.

고전압 간격: PCB 간격 요구 사항

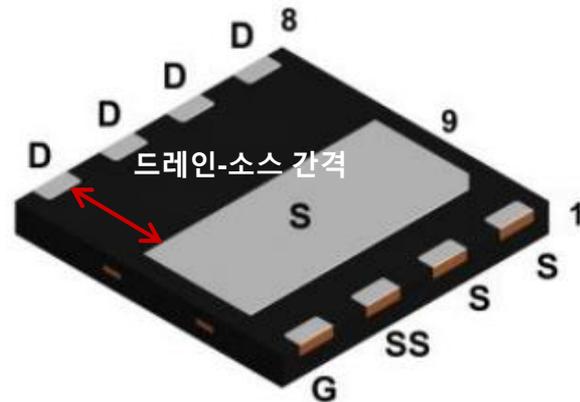
전압	IEC 60664-1	IPC 9592B $0.6 + V_{PK} \times 0.005$	IPC 2221B	
			비코팅	코팅
(V)	(mm)			
20	0.04	0.7	0.1	0.13
32	0.04	0.75	0.64	0.13
63	0.063	0.9	0.64	0.13
125	0.25	1.2	0.64	0.4
400	2	2.6	2.5	0.8
800	4	4.6	4	2.44
1000	5	5.6	5	3.05



기존 고전압 패키지 예시

- 업계에는 동일한 애플리케이션이라도 일관성이 없는 경우가 있습니다.

제조업체	패키지	절대 최대값(DC)	고전압 간격
I1	8 × 8 DFN	650V	2.325mm
I2	8 × 8 DFN	600V	2.8mm
G1	8 × 8 DFN	650V	2.8mm
G2	8 × 8 DFN	650V	2.74mm
T1	8 × 8 DFN	650V	2.5mm
T1	TO247-3	650V	2.7mm
T1	TO220-3	650V	1.11mm
T2	7 × 9 QFN	650V	2.1mm



고전압 간격에 대한 기타 예외 사항

기능적 절연은 고전압 환경에 적합한 작동, 연면 및 공간 또는 고전압 간격을 달성하기 위해 다음을 충족해야 합니다*.

- 위에서 설명한 연면 및 공간 거리 요구 사항을 충족합니다.

또는

- 전기 강도 루틴 테스트(HiPot 테스트)를 견뎌냅니다.
 - 피크 작동 전압 또는 필요한 내충격 전압에 따라 전기 강도 테스트 전압이 결정될 수 있습니다.
 - 예: 휴대폰 또는 PC 어댑터는 HiPot 테스트를 통해 1kV/1mm를 수용할 수 있습니다.

*IEC 60664-1 5.2.2.1 및 5.1.3.3, IEC 60950-1 5.3.4 및 IEC 62368-1 B.4.4의 기능 절연 설명에 따름

결론

- 중요 용어의 정의를 검토하고, 각 매개변수의 영향을 나열하여 실제 사례와 함께 CPG 및 CLR을 결정합니다.
- CPG 및 CLR을 결정하는 두 가지 접근 방식, 즉 절연 안전성과 고전압 PCB 간격을 요약했습니다.
- 절연 등급을 결정하는 방법 소개
- PCB와 관련된 절연 시스템 CPG 및 CLR과 고전압 간격을 결정하기 위한 흐름도를 제시하고, IEC 60664-1의 흐름도에 사용된 중요 표를 검토했습니다.
- 텔레콤, 서버, 온보드 배터리 충전기의 세 가지 사례에 대해 논의했습니다.
- IPC 및 IEC 표준의 다양한 고전압 간격을 요약하고 비교했습니다.
- 필수 CPG 및 CLR을 충족하지 못하는 경우 기능 절연에 대한 예외 조항을 제공했습니다.

자료

- IEC 60664-1 저전압 공급 시스템 내의 장비에 대한 절연 조정 - 1부: 원칙, 요구 사항 및 테스트
- IEC 62368-1 오디오/비디오, 정보 통신 기술 장비 - 1부: 안전 요구 사항
- IEC 60950-1 정보 기술 장비 - 안전 - 1부: 일반 요구 사항
- IEC 62109-1 태양광 발전 시스템에서 사용하기 위한 전력 컨버터의 안전성 - 1부: 일반 요구 사항
- IEC 61800-5-1 가변 속도 전력 구동 시스템 - 5-1부: 안전 요구 사항 - 전기, 열 및 에너지
- IPC 2221B 인쇄 기판 설계에 대한 일반 표준
- IPC 9592B 컴퓨터 및 통신 산업을 위한 전력 변환 장치에 대한 요구 사항



© Copyright 2024 Texas Instruments Incorporated. All rights reserved.

This material is provided strictly “as-is,” for informational purposes only, and without any warranty.
Use of this material is subject to TI’s **Terms of Use**, viewable at [TI.com](https://www.ti.com)

IMPORTANT NOTICE AND DISCLAIMER

TI PROVIDES TECHNICAL AND RELIABILITY DATA (INCLUDING DATA SHEETS), DESIGN RESOURCES (INCLUDING REFERENCE DESIGNS), APPLICATION OR OTHER DESIGN ADVICE, WEB TOOLS, SAFETY INFORMATION, AND OTHER RESOURCES "AS IS" AND WITH ALL FAULTS, AND DISCLAIMS ALL WARRANTIES, EXPRESS AND IMPLIED, INCLUDING WITHOUT LIMITATION ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE OR NON-INFRINGEMENT OF THIRD PARTY INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS.

These resources are intended for skilled developers designing with TI products. You are solely responsible for (1) selecting the appropriate TI products for your application, (2) designing, validating and testing your application, and (3) ensuring your application meets applicable standards, and any other safety, security, regulatory or other requirements.

These resources are subject to change without notice. TI grants you permission to use these resources only for development of an application that uses the TI products described in the resource. Other reproduction and display of these resources is prohibited. No license is granted to any other TI intellectual property right or to any third party intellectual property right. TI disclaims responsibility for, and you will fully indemnify TI and its representatives against, any claims, damages, costs, losses, and liabilities arising out of your use of these resources.

TI's products are provided subject to [TI's Terms of Sale](#) or other applicable terms available either on [ti.com](https://www.ti.com) or provided in conjunction with such TI products. TI's provision of these resources does not expand or otherwise alter TI's applicable warranties or warranty disclaimers for TI products.

TI objects to and rejects any additional or different terms you may have proposed.

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2024, Texas Instruments Incorporated