

제 5 장

감전에 대한 보호(KEC 211)

5.1 보호대책의 일반 요구사항(KEC 211.1)	75
5.2 전원의 자동차단에 의한 보호대책(KEC 211.2)	78

제5장. 감전에 대한 보호(KEC 211)



안전을 위한 보호 (KEC 210)

전기안전에 관한 기본원칙으로 전기설비를 적절히 사용할 때 발생할 수 있는 위험과 장애로부터 인축(생명)과 재산을 안전하게 보호하기 위해 감전, 열의 영향, 과전류, 고장 전류, 과전압 및 전자기 장애 그리고 전원공급 중단에 대한 보호의 원칙을 정하고 있다.

감전이란 사람이나 가축의 몸을 통과하는 전류로 인한 생리적 영향으로 정의되며, 이는 전류 감지, 근육 반응, 심실 세동, 화상 등을 말한다.

5.1 보호대책의 일반 요구사항(KEC 211.1)

1 전압 규정

- 1) 교류전압 : 실효값
- 2) 직류전압 : 리플프리

2 전기설비에서의 감전을 방지하기 위한 보호대책의 구성

[표 5.1-1]과 같이 **기본보호와 고장보호의 조합** 또는 **특별저압에 의한 보호**가 있으며, 이들의 보호방법을 적절히 조합하여 사용하거나, 추가적인 보호대책을 사용한다.

[표 5.1-1] 감전보호를 위한 방법

구분	기본보호	고장보호	특별 저압보호
정의	정상운전 중인 전기설비의 충전부에 접촉하는 경우 감전보호 (충전부에 접촉 방지)	전기설비 누전 등 고장이 발생한 기기에 접촉하는 경우 감전보호	인체에 위험을 초래하지 않을 정도의 저압 (AC 50V, DC 120V 이하) 전원회로에 의한 보호
보호 방법	· 충격부 절연 · 격벽 또는 외함 · 접촉범위 밖 배치	· 이중절연 / 강화절연 · 보호 등전위 본딩 · 전원 자동차단 · 전기적 분리 · 비도전성 장소	· 비접지회로 적용 SELV · 접지회로 적용 PELF · 기능적 특별저압 사용 시 적용 FELV

1) 기본보호(충전부 방호)

전기설비가 정상적으로 운전하는 상태에서 그 전기설비에 사람이나 가축이 직접 접촉할 때에 감전을 방지하기 위한 대책이다. 보호방법으로는 전선 접속단자에 캡(밴드)을 씌워 충전부를 절연물질로 절연하는 것과 분전반의 내판과 같이 충전부에 접근하지 못하도록 하는 방법이 사용된다.

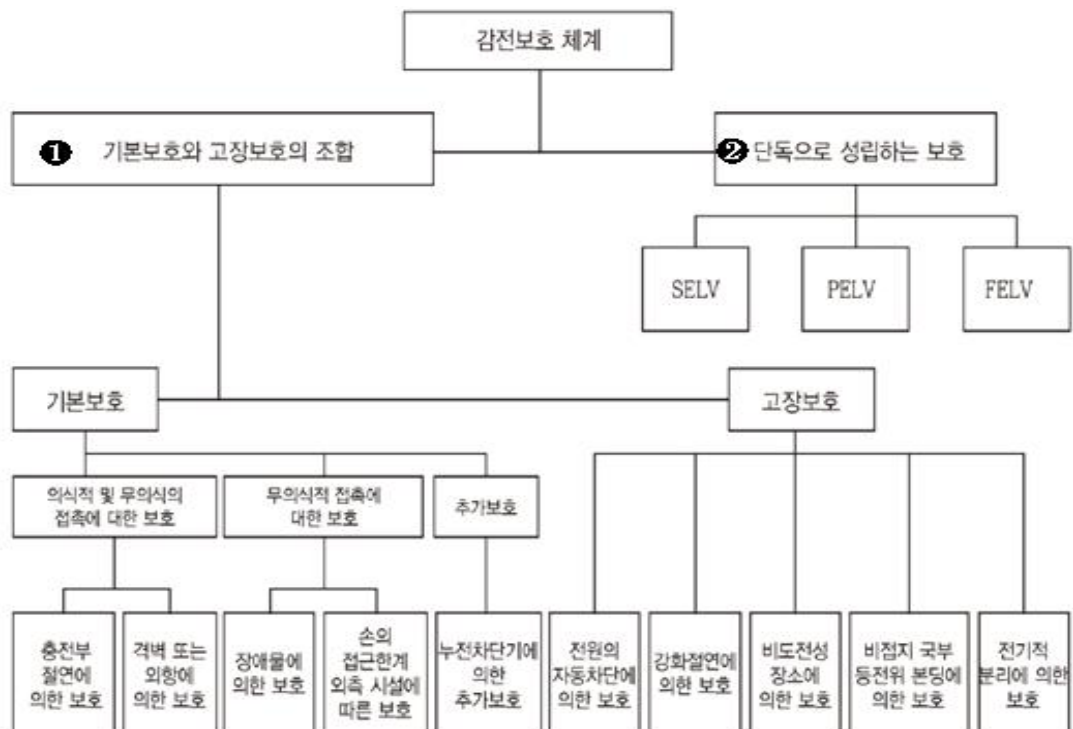
2) 고장보호

전기설비의 누전고장으로 그 전기설비에 사람이나 가축이 접촉할 경우에 감전을 방지하기 위한 대책이다. 고장보호의 기본은 허용접촉전압(통상적인 상태에서 교류 50V)을 초과하는 접촉전압으로 생리적으로 유해한 영향을 미치는 시간이 지속되지 않도록 하는 것이다. 허용접촉전압의 한계 값은 특별한 환경조건에서는 이보다 낮은 값이 요구될 수 있다. **전원의 자동차단과 보호등전위본딩 등의 방법**이 사용된다.

3) 특별전압에 의한 보호

전기량을 제한하는 전원을 사용하여 사람이나 가축이 접촉하여도 **인체에 위험을 초래하지 않을 정도의 전압으로 전원을 공급**하는 방법이다.

[참고] 감전보호에 대한 보호 체계(KS C IEC 60364-4-41)



▶ 감전보호 정리 : 감전보호는 ① 또는 ②의 방법이 있다.

① 기본보호+고장보호의 조합

- 기본보호 중 1개 이상의 방법 선택 또는 조합
- 고장보호 중 1개 이상의 방법 선택 또는 조합
- 누전차단기에 의한 추가보호는 KEC에서 설치를 강제한 장소에서는 의무적으로 설치하여야 함

※ TN계통에서 배선차단기로 감전보호가 가능한 경우에도 누전차단기 설치 의무장소는 누전차단기를 설치하여야 한다.

② 단독으로 성립하는 보호

특별저압에 의한 보호로 기본보호와 고장보호를 모두 만족하는 방법이다.

3 설비의 각 부분에서 하나 이상의 보호대책을 적용할 것

- 1) 전원의 자동차단(211.2)
- 2) 이중절연 또는 강화절연(211.3)
- 3) 한 개의 전기사용기기에 전기를 공급하기 위한 전기적 분리(211.4)
- 4) SELV와 PELV에 의한 특별저압(211.5)

전기량을 제한하는 전원(AC 50 V, DC 120 V 이하)을 사용하여 사람이나 가축이 접촉하여도 인체에 위험을 초래하지 않을 정도의 전압(즉, 안전전압)으로 전원을 공급하는 방법이다.

4 장애물을 두거나 접촉범위 밖에 배치하는 보호대책(211.8)

다음과 같은 사람이 접근할 수 있는 설비에 사용하여야 한다.

- 1) 숙련자 또는 기능자
- 2) 숙련자 또는 기능자의 감독 아래에 있는 사람

5 숙련자와 기능자의 통제 또는 감독이 있는 설비에 적용 가능한 보호대책(211.9)

- 1) 비도전성 장소
- 2) 비접지 국부등전위본딩
- 3) 두개 이상의 전기사용기기에 공급하기 위한 전기적 분리

※ 다만, 무단 변경이 발생하지 않도록 설비는 숙련자 또는 기능자의 감독 아래에 있는 경우에 적용하여야 한다.

5.2 전원의 자동차단에 의한 보호대책(KEC 211.2)

전원의 자동차단에 의한 보호대책으로 기본보호는 충전부의 기본절연과 격벽 또는 외함에 의하며, **고장보호는 보호접지, 보호등전위본딩에 의하여 전위상승을 억제하고, 고장시의 자동차단에 의한다.** 추가적인 보호로 누전차단기를 시설할 수 있다.

※ 전기설비에서 감전보호의 일반적인 대책

전기설비에서 일반적인 고장보호 대책으로 **전원의 자동차단에 의한 보호**가 적용되고 있으며, 이는 고장 시 차단기가 동작하기 전에 보호접지와 보호등전위본딩으로 충격적인 전위(전압)상승을 억제하고 일정시간 안에 차단기(보호기기 : 배선차단기, 누전차단기)로 자동차단하는 방법이다.

1 고장보호의 요구사항(KEC 211.2.3)

1) 보호접지

보호접지는 절연고장으로 누설전류가 흘러 충전부가 되는 노출도전부 (전동기의 외함, 금속제 박스 등)의 접지방식이다. 노출도전부에 보호(PE)도체를 접속하여 대지의 접지극으로 방전하는 감전보호용 접지이다.

- (1) 노출도전부는 계통접지별로 규정된 특정조건에서 보호도체에 접속한다.
- (2) 동시에 접근 가능한 노출도전부는 개별적 또는 집합적으로 같은 계통접지에 접속하여야 한다.

2) 보호등전위본딩

도전성부분은 보호등전위본딩으로 접속하여야 하며, 건축물 외부로부터 인입된 도전부는 건축물 안쪽의 가까운 지점에서 본딩하여야 한다.

다만, 통신케이블의 금속외피는 소유자 또는 운영자의 요구사항을 고려하여 보호등전위본딩에 접속해야 한다.

3) 고장시의 자동차단

선도체와 노출도전부 또는 선도체와 기기의 보호도체 사이의 임피던스가 무시할 정도로 되는 **고장이 발생할 경우** [표 5.2-1]에서 정하는 시간 이내에 전원을 **자동으로 차단**하여야 한다.

전기설비의 절연고장 시 노출도전부는 충전부가 되어 이를 접촉하는 경우 인체에 전류가 흐른다. 이 인체 통전전류가 30 mA를 초과하는 경우에는 감전사고의 위험성이 있으므로 통전시간을 제한하여 보호장치의 최대차단시간 이내에 전원을 자동차단하여 감전으로부터 인체를 보호하여야 한다.

[표 5.2-1] 32 A 이하 분기회로의 최대 차단시간 (단위 : 초)

계통	50 V < $U_0 \leq 120V$		120 V < $U_0 \leq 230V$		230 V < $U_0 \leq 400 V$		$U_0 > 400 V$	
	교류	직류	교류	직류	교류	직류	교류	직류
TN	0.8	[비고1]	0.4	5	0.2	0.4	0.1	0.1
TT	0.3	[비고1]	0.2	0.4	0.07	0.2	0.04	0.1

U_0 는 대지에서 공칭교류전압 또는 직류 선간전압이다.

4) 누전차단기에 의한 추가적인 보호

- (1) 일반적으로 사용되며 일반인이 사용하는 정격전류 20 A 이하 콘센트
- (2) 옥외에서 사용되는 정격전류 32 A 이하 이동용 전기기기

2 TN, TT 계통의 전원 자동차단에 의한 보호(KEC 211.2.5, 211.2.6)

전원 자동차단에 의한 보호장치는 선도체와 노출도전부 또는 선도체와 보호도체 사이에서 고장이 발생한 경우 정해진 시간 내에 전원을 자동차단하여야 한다.

[표 5.2-1]는 일반적으로 사용하는 정격전류 32 A 이하 분기회로에서 TN, TT 계통보호장치의 최대 차단시간을 나타낸 것이다.

1) TN 계통 자동차단 조건 및 접촉전압

TN 계통은 지락고장 시 **큰 지락고장전류가 PE도체**를 통하여 흐르므로 접속부의 **저항 증가를 억제**하여 발열이 없도록 접속하여야 한다.

- (1) TN-S, TN-C 및 TN-C-S 계통의 자동차단 조건은 다음 식과 같다.

$$Z_s \times I_a \leq U_o$$

여기서, Z_s : 고장 루프 임피던스

I_a : 정해진 시간 내에 보호장치를 자동차단 시키는 전류

U_o : 공칭대지전압

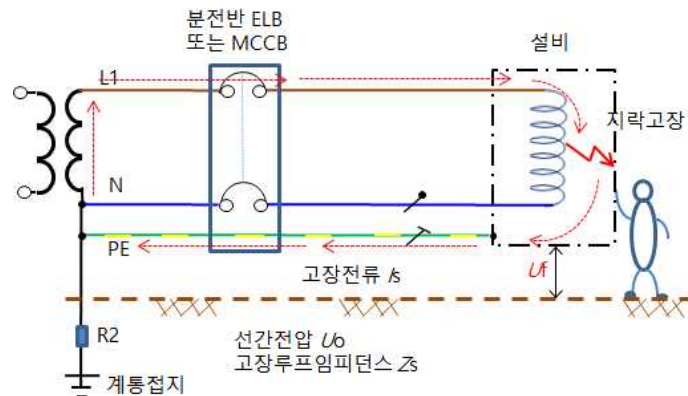
- (2) TN-S, TN-C 및 TN-C-S 계통의 접촉전압

부하점에서 절연불량인 경우 노출도전부 대지전위는 전원전압의 1/2로 저감

된다. 단락 및 부하기기의 절연불량이 발생했을 때 노출도전부에 약 $U_o/2$ 의 전압이 나타나므로 동시에 접촉이 가능한 다른 노출도전부 또는 계통외도전부에 등전위본딩을 한다.

2) TN-S 계통의 고장임피던스(Z_s), 고장전류(I_s) 및 보호장치 설치조건

TN-S 계통의 회로와 고장임피던스(Z_s), 고장전류(I_s) 및 보호장치의 설치조건을 요약하면 [그림 5.2-1]과 같다.



[그림 5.2-1] TN-S계통

- (1) 고장루프 임피던스(Z_s) : 매우 작음
- (2) 고장전류(I_s) : 큰 고장전류
- (3) 보호장치 설치조건
 - ① 과전류차단기 사용 : 순시차단 특성이 고장전류 이하가 되도록 선정
 - ② 누전차단기(RCD)에 의한 추가보호 : 일반인 사용 20 A 이하 콘센트 회로와 32 A 이하 이동용 전기기기에 적용 가능하며, 정격감도전류 30 mA 이하의 **누전차단기를 설치하면** 한국전기안전공사에서 공사계획신고 시 **감전보호 계산서를 생략**해 주고 있어 대부분의 설계에 적용하고 있다.

3) TT 계통 자동차단 조건 및 접촉전압

- (1) TT 계통에서의 자동차단 조건식

$$R_a \times I_a \leq 50 V$$

여기서 R_a : 노출도전부에 접속된 보호도체 저항(Ω)의 합.

I_a : 보호장치를 자동차단시키는 전류(누전차단기인 경우는 정격동작전류)

[참고] 노출도전부의 접지극 저항값은 $100(\Omega)$ 이하이어야 한다.

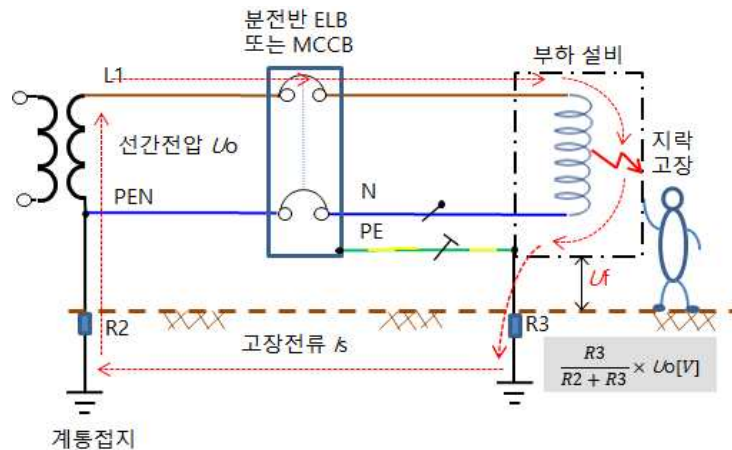
즉, TT계통은 종전 방식으로 지하구조물이 작은 소규모의 주택, 학교, 공장 등에 적합하며, 개별접지저항값은 제3종 접지저항값인 $100(\Omega)$ 이하로 하고 누전차단기를 의무 적용하는 것이다. 상기의 계산식($R_a \times I_a \leq 50V$)을 적용하면 접지저항값(R_a)은 I_a 가 30 mA이므로 R_a 는 $1665(\Omega)$ 이 되나, 저항값의 변동성과 안전을 고려하여 $100(\Omega)$ 이하로 결정한 것으로 검토된다.

(2) TT 계통의 접촉전압

보호접지저항 R_3 와 계통접지저항 R_2 가 전원전압을 분담하며, 보호접지저항 ($100(\Omega)$ 이하)은 경제성 등으로 계통접지저항($5(\Omega)$ 이하)에 비해 크다. 그러므로 TT 계통의 접촉전압은 보호접지에 의한 전원전압의 저감 효과가 적다($R_3 = R_2$ 인 경우 $U_f = U_0/2$ 이다).

4) TT 계통의 고장임피던스(Z_s), 고장전류(I_s) 및 보호장치의 설치조건

TT 계통의 회로와 고장임피던스(Z_s), 고장전류(I_s) 및 보호장치의 설치조건을 요약하면 [그림 5.2-2]과 같다.



[그림 5.2-2] TT 계통

- (1) 고장루프 임피던스(Z_s) : 매우 크다
- (2) 고장전류(I_s) : 매우 작음
- (3) 보호장치 설치조건 : 누전차단기(정격감도전류 30 mA 이하) 의무 사용

3 누전차단기(RCD : Residual Current Protective Device)의 시설(KEC 211.2.4)

[참고 1] 누전차단기(RCD : Residual Current Protective Device)의 표기

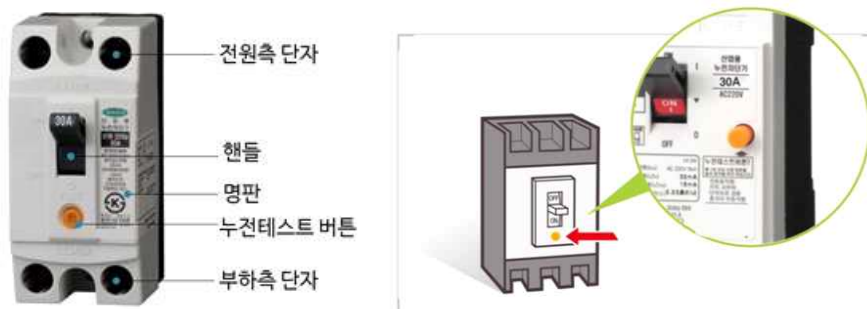
- (1) 한국 : **IEC규격의 도입**에 따라 한국산업규격(KS)에서 **RCD로 표시**함.
- (2) 일본 : ELB(Earth Leakage Breaker)
- (3) 미국 : GFCI(Ground Fault Circuit Interrupter) : TN-C 계통에서는 4선식(PEN 도체 적용)으로 누전차단기를 적용할 수 없으므로 기기 마다 부착하여 보호한다.
- (4) 영국 : ELCB(Earth Leakage Circuit Breaker)
- (5) IEC와 유럽 : RCPD 또는 RCD

※ 과거에는 영국의 BS가 표준이었으나 현재는 독일의 DIN이 바뀌면 EU가 바뀌고, IEC가 따르는 구조이다.

[참고 2] 누전차단기의 테스트 버튼은 황색 표시

2009년 이후 신규로 설치하는 누전차단기의 테스트 버튼은 황색이어야 함(국제표준에 맞도록 KS 개정됨 ; KS C 4613 산업용 누전차단기 7.3)

※ 개정취지 : IEC 표준에서 적색은 누름버튼의 폐로(close), 녹색은 누름버튼의 개로(open)를 사용하고 있음. 따라서 사용자의 혼동을 막기 위해 테스트 버튼은 황색으로 표준을 반영함



[그림 5.2-3] 누전차단기의 부품 명칭과 시험버튼 표시(황색)

1) 전원자동차단에 의한 저압전로의 보호대책으로 누전차단기 시설 대상

- (1) 금속제 외함을 가지는 사용전압이 **50 V를 초과하는 저압의 기계기구로서 사람이 쉽게 접촉할 우려가 있는 곳**에 시설하는 것에 전기를 공급하는 전로에 정격 감도전류 30mA이하, 동작시간 0.03초 이내에 동작하는 **누전차단기(RCD)**를 시설하여야 한다.

- (2) KEC규정에서 특별히 누전차단기 설치를 요구하는 경우
- ① 주택의 인입구
 - ② 욕조나 샤워시설이 있는 욕실 또는 화장실에 콘센트를 시설하는 경우(정격 감도전류 15 mA이하)
 - ③ 옥측 또는 옥외에 저압의 전기간판에 전기를 공급하는 전로
 - ④ 보안등, 조경등 등으로 시설하는 방전등에 공급하는 전로
 - ⑤ 수중조명등의 절연변압기 2차측 전로의 사용전압이 30 V를 초과하는 경우
 - ⑥ 교통신호등 회로
 - ⑦ 파이프라인 등의 전열장치에 전기를 공급하는 전로
 - ⑧ 비상조명을 제외한 조명용 분기회로 및 정격 32 A이하의 콘센트용 분기회로
 - ⑨ 이동식(조립)주택에 공급하기 위해 고정 접속되는 최종분기회로
 - ⑩ 의료장소의 전로
- (3) 특고압전로, 고압전로 또는 저압전로와 변압기에 의하여 결합되는 사용전압 400 V 초과 저압전로(발전소 및 변전소와 이에 준하는 곳에 있는 부분의 전로를 제외한다) 또는 발전기에서 공급하는 사용전압 400 V 이상의 저압전로
- (4) 다음의 전로에는 전기용품안전기준 “K60947-2의 부속서 P”의 적용을 받는 자동 복구 기능을 갖는 누전차단기를 시설할 수 있다.
- ① 독립된 무인 통신중계소·기지국
 - ② 관련법령에 의해 일반인의 출입을 금지 또는 제한하는 곳
 - ③ 옥외의 장소에 무인으로 운전하는 통신중계기 또는 단위기기 전용회로. 단, 일반인이 특정한 목적을 위해 지체하는(머물러 있는) 장소로서 버스 정류장, 횡단보도 등에는 시설할 수 없다.
- 2) 저압용 비상용 조명장치·비상용승강기·유도등·철도용 신호장치, 비접지 저압전로, 322.5의 6에 의한 전로, 기타 그 정지가 공공의 안전 확보에 지장을 줄 우려가 있는 기계기구에 전기를 공급하는 전로의 경우, 그 전로에서 지락이 생겼을 때에 이를 기술원 감시소에 경보하는 장치를 설치한 때에는 누전차단기를 시설하지 않을 수 있다.
- 3) IEC 표준을 도입한 누전차단기를 저압전로에 사용하는 경우 일반인이 접촉할 우려가 있는 장소(세대 내 분전반 및 이와 유사한 장소)에는 주택용 누전차단기

를 시설하여야 하고 주택용 차단기를 정방향(세로)으로 부착할 경우에는 차단기의 위쪽이 켜짐(on)으로, 차단기의 아래쪽은 꺼짐(off)으로 시설하여야 한다.

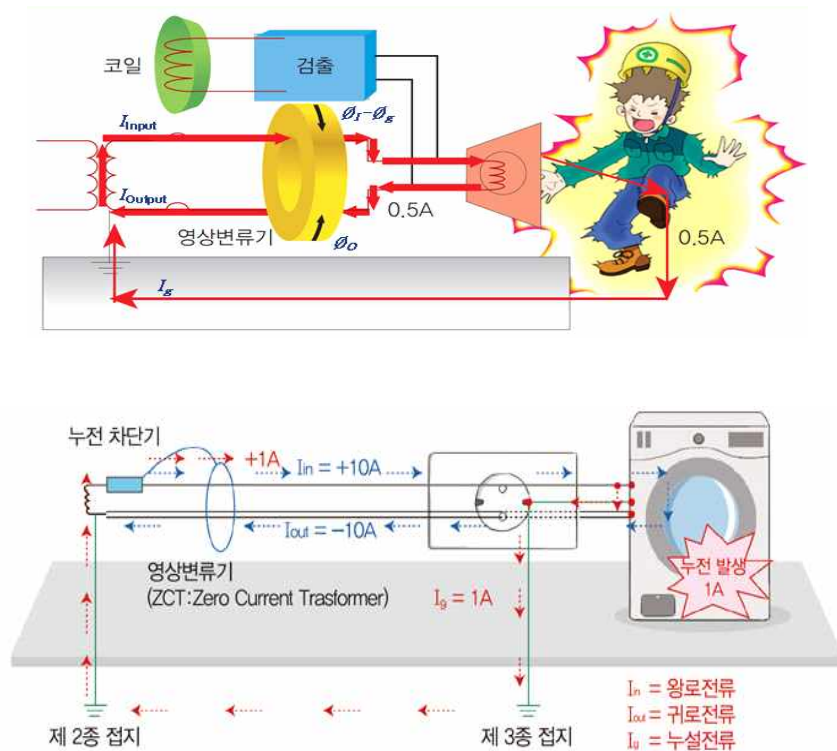
4) 다음의 장소에는 누전차단기를 설치하지 않을 수 있다.

- ① 저압의 비상용 조명장치 및 유도등
- ② 비상용승강기
- ③ 철도용 신호장치
- ④ 비접지 저압전로
- ⑤ 전로의 중성점의 접지에 의한 전로
- ⑥ 기타 그 정지가 공공의 안전 확보에 지장을 줄 우려가 있는 기계기구에 전기를 공급하는 전로의 경우

[참고 3] 누전차단기에 의한 감전방지(누전차단기의 작동 원리)

전류의 차이(누설전류)를 감지하여 전원을 차단시켜 감전사고를 방지

$$I = I_{\text{Input}} - I_{\text{Output}} = I_g \quad I_{\text{Input}} \neq I_{\text{Output}} \quad I_g \neq 0 \quad \phi = \phi_I - \phi_O = \phi_g$$



[그림 5.2-4] 누전차단기 동작원리

