Ⅰ. 국내 접지 SYSTEM의 문제점과 대책

1. 서　론

전기설비 분야에서는 사용하는 전압규격과 사용방식, 접지 System이 어떻게 조화를 이루냐에 따라 안전에 대한 확보여부가 결정된다.
지락 사고 시 지락전류는 일정한 어느 한 부분으로만 흐르는 것이 아니라 접지저항의 상황에 따라 분류한다.

이러한 이유로 접지저항이 낮으면 안전하고 높으면 위험하다는 일반적인 잘못된 생각이 사고를 크게 확대시킬 수 있다

국내의 수용가(고객측) 접지 System은 일본방식을 그대로 모방하여 적용하고 있다. 한국전력 측의 접지 System이 다중접지 방식(TN-C)을 기본으로 하고 있는데 반해 수용가 측은 개별접지방식(TT)방식을 적용하고 있어 많은 문제점을 야기시키고 있다. 최근 일본 자료에 의하면 사진 1과 같이 한국의 접지 System을 낙후한 수준으로 평가하고 있다.

WTO/TBT협정 이후 세계화된 기준과 공사방법으로 전환되는 환경에서 이제는 국내의 접지 System을 국제 환경에 적합하고, 안전하며, 기술적으로 완벽한 기준이 되도록 하여야 한다.



【사진1. 세계 접지시스템 분포】

2. 본　　론

가. IEC 분류에 따른 접지 계통

접지방식	전원 배전계통	대규모 시설의 배전회로(간선)
TN-S	에스토니아, 스웨덴, 남아프리카, 영국 네델란드, 유고슬라비아	오스트리아, 독일, 핀란드, 러시아, 남아프리카 오스트레일리아, 덴마크, 프랑스, 스웨덴 스위스, 스페인, 네덜란드, 영국
TN-C	오스트리아 체코 에스토니아 헝가리 러시아 영국, 오스트레일리아, 독일, 핀란드 네덜란드, 스웨덴, 유고슬라비아, 스위스 덴마크, 크로아티아, 노르웨이, 슬로바키아 미국, 한국	오스트리아 벨기에 스위스 체코 독일 덴마크 에스토니아 스페인 프랑스 크로아티아 헝가리 네덜란드 노르웨이 러시아 스웨덴 영국 미국
TN-C-S	벨기에, 에스토니아, 뉴질랜드, 노르웨이 스웨덴, 영국, 유고슬라비아, 남아프리카	오스트리아, 오스트레일리아, 벨기에 , 네덜란드 독일, 덴마크, 스페인, 핀란드, 프랑스 , 러시아 크로아티아, 스웨덴, 영국, 남아프리카, 스위스
TT (중성선 무)	벨기에, 스위스, 체코, 덴마크, 일본 네덜란드, 영국	오스트리아, 스위스, 독일, 덴마크, 일본, 한국 네덜란드, 러시아, 슬로바키아, 영국
TT (중선선 유)	오스트리아, 독일, 스페인, 프랑스, 헝가리 크로아티아, 네덜란드, 영국, 유고슬라비아,	스페인, 프랑스, 헝가리, 네덜란드, 영국 오스트리아, 프랑스, 한국
IT(중성선유)	영국	영국, 유고슬라비아, 오스트리아, 독일, 덴마크
IT(중선선무)	벨기에, 에스토니아, 노르웨이	스페인, 프랑스, 네덜란드, 슬로바키아, 영국
IT(그임피던스접지)	영국	스페인, 프랑스, 네덜란드, 슬로바키아, 영국

【표1. 세계 배전계통의 접지방식 비교】

표1. 에서 보는 바와 같이 전원계통과 수용가 계통의 접지방식을 일치하여 사용하는 것이 기술적으로 문제가 없으나 한국의 경우는 이를 혼용하여 사용하고 있다. NEMA 보고서에 따르면 TN 방식과 TT 방식은 서로 공유할 수 없는 방식으로 발표하고 있다

나. IEC 접지 주요 내용

1) 접지계통의 종류

IEC에서 사용된 코드가 갖는 의미는 다음과 같다.

제1 문자는 전력계통과 대지의 관계

T : 한 점을 대지에 직접 접속한다.

I : 모든 충전부를 대지(접지)로부터 절연시키거나 임피던스를 삽입하여 한 점을 직접 접속한다.

제2문자는 설비의 노출 유도성 부분과 대지와의 관계

T : 전력계통의 접지와는 관계가 없으며 노출 도전성 부분을 대지로 직접 접속한다.

N : 노출 도전성 부분을 전력계통의 접지점(교류계통에서는 통상적으로 중성점 또는 중성점이 없을 경우는 한상)에 직접 접속한다.
그 다음 문자(문자가 있을 경우)중성선 및 보호도체와의 조치

S : 보호도체의 기능을 종성선 또는 접지측 도체(또는 교류계통에서는 접지측 상)와 다른 도체에서 실시한다.

C : 중성선 및 보호도체의 기능을 한 개의 도체로 겸용한다(PEN 도체)

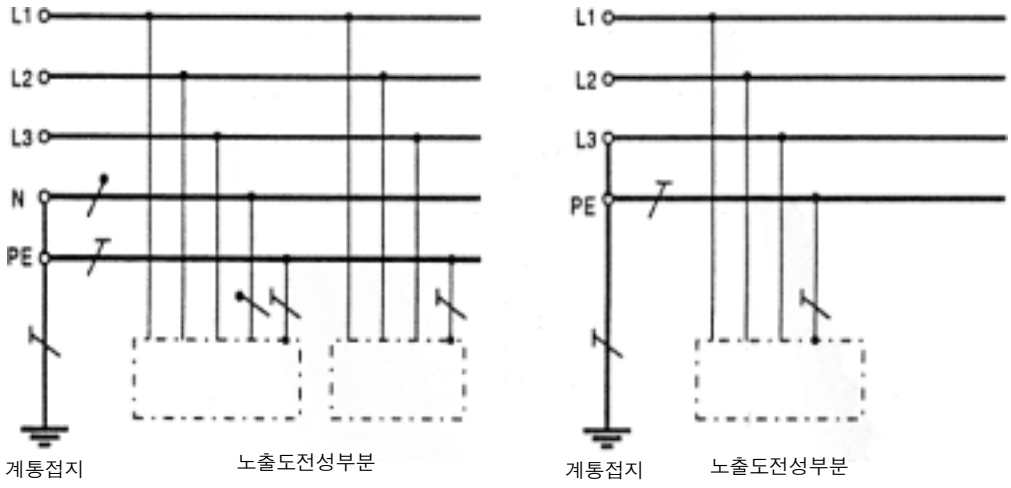
2) TN 계통

TN 전력계통은 한 점을 직접 접지하고 설비의 노출 도전성 부분을 보호도체를 이용하여 그 점으로 접속시킨다. TN 계통은 중성선 및 보호도체의 조치에 따라 다음 3가지 종류로 나눌 수 있다.

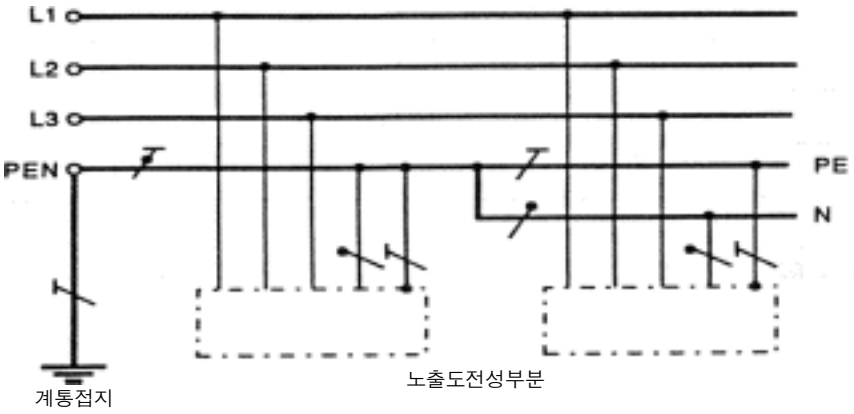
TN-S : 계통 전체에 대해 보호도체를 분리시킨다.

TN-C-S : 계통의 일부분에서 중성선과 보호도체의 기능을 동일 도체로 겸용한다.

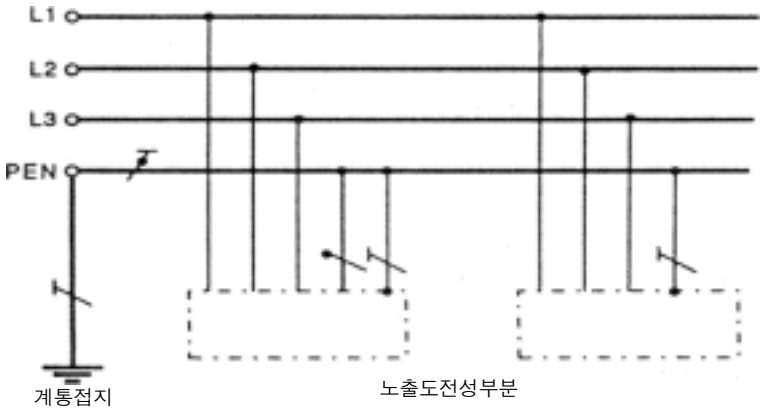
TN-C : 계통 전체에 대해 중성선과 보호도체의 기능을 동일 도체로 겸용한다.



【그림1. TN-S 계통】



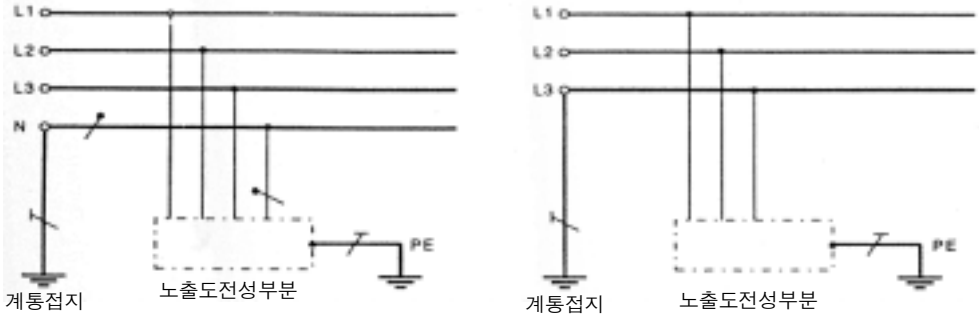
【그림2. TN-C-S 계통】



【그림3. TN-C 계통】

3) TT 계통

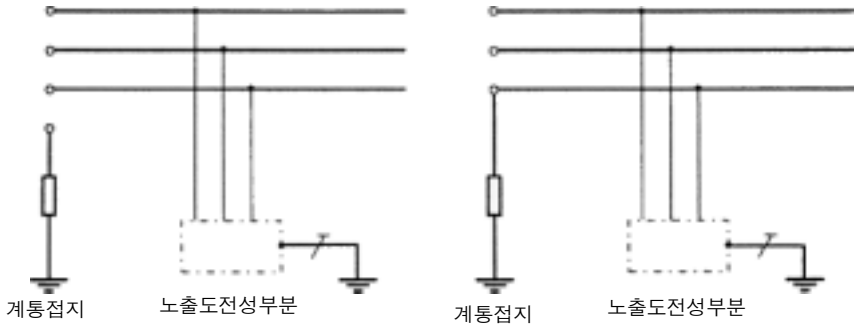
TT 전력계통은 한 점을 직접접지하고 설비의 노출전도성 부분을 전력계통의 접지극과 전기적으로 독립한 접지극으로 접속시킨다.



【그림4. TT 계통】

4) IT 계통

IT 전력계통은 충전부 전체를 대지로부터 절연시키거나 한 점을 임피던스를 삽입하여 대지에 접속시키고 전기설비의 노출도전성 부분을 단독 혹은 일괄로 접지시키거나 또는 계통의 접지로 접속시킨다.



【그림5. IT 계통】

다. TN 계통, TT 계통에서의 감전보호방식 비교

그림 6은 TN 계통과 TT 계통에서 지락사고시 전위 상승폭과 배선용 차단기의 단락시간과의 관계를 가지고 누전차단기를 사용할 것인가 아니면 배선용 차단기를 사용할 것인가를 판단하는 플로우차트이다.

대부분의 과전류 차단기가 1초 이내에 작동하므로 TN 계통에서는 과전류 차단기를 가지고 지락사고 차단이 가능함을 설명하고 있다. 미국의 경우 별도로 물기가 많은 장소는 GFCI(Ground Fault Circuit Interrupter)를 추가로 설치 사용하고 있다. 반면, TT 계통에서는 지락 사고시 R_A가 커 전위상승을 대부분 50[V] 미만으로 억제하기가 불가능하므로 누전차단기를 사용해야 함을 나타내고 있다.

1) TN 계통

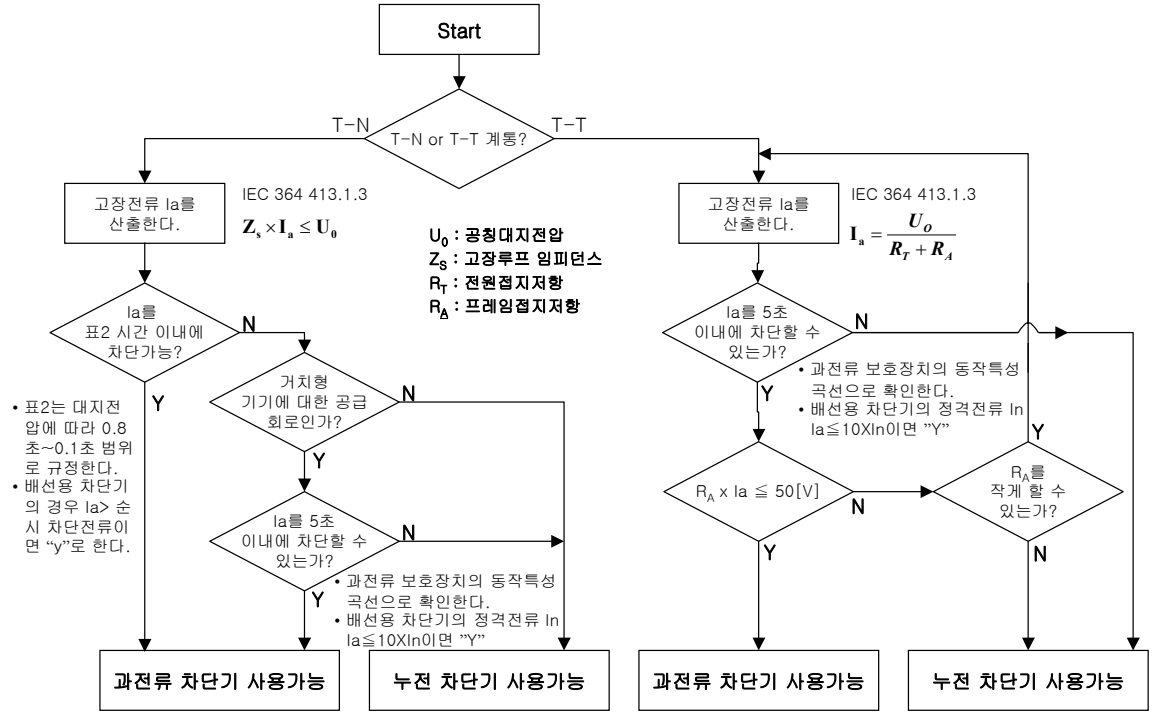
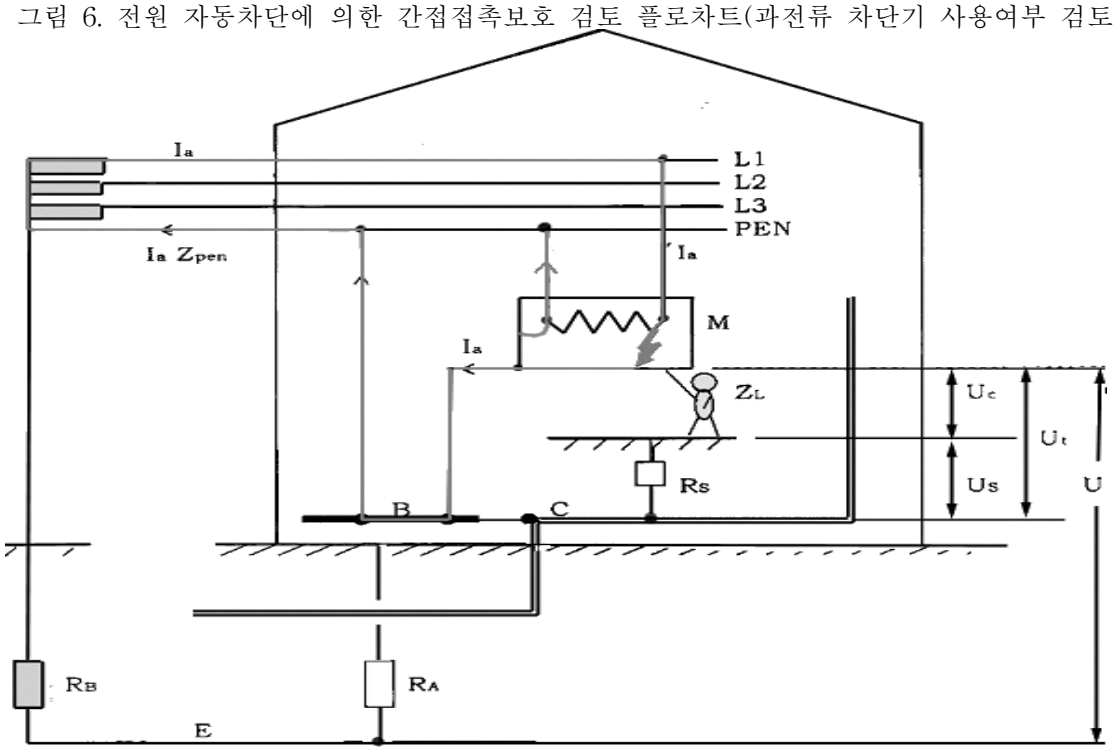


그림 6. 전원 자동차단에 의한 간접접촉보호 검토 플로차트(과전류 차단기 사용여부 검토)



L1, L2, L3 : 상도체　　PEN : PEN 도체
M : 노출도전성 부분　　Ia : 고장전류
R_A : 설비의 노출도전성 부분 접지저항
R_B : 전원 중성점 접지저항　　Uc : 접촉전압
Z_L : 인체 임피던스　　Ut : 추정접촉전압
Us : Rs에 해당하는 전압강하　　Uf : 고장전압
E : 대지(정의는 IEV 826-04-01)
Rs : 사람이 접촉하는 표면 또는 설비의 기준점 B(주요 등전위 본딩점)에 연결된 계통외 도전성 부분간의 저항
주) Rs는 사람이 이런 계통외 도전성 부분과 접촉했을 때 0이 될 가능성이 있다.
C : 보호도체 및 주접지 단자와 연결된 계통외 도전성 부분
B : 기준점(예를 들어 주요 등전위 본딩)

【그림7. TN 계통의 고장루프 구성】

① 그림 7에서 설명하는 바와 같이 TN 계통에서 발생하는 고장전류는 금속도체를 경유해 전원으로 흐르고 대지를 경유해서 흐르지 않는다. 따라서 회로 내 지락 고장시에는 지락전류에 해당하는 큰 고장전류가 흐른다. 곧 대부분의 경우 전선을 보호하기 위해 필요한 과전류 보호장치가 고장 발생한 전기기기를 회로에서 차단하는 역할을 담당한다. 구내 배선회로에서 사용한 적절한 보호수단에 의해 고장 발생점에서 위험한 접촉전압이 사용설비에 전달되는 것을 방지해야 한다.

② TN 계통에서 전원 자동차단에 의한 보호(간접접촉보호)인 경우 특히 중요한 것이 차단시간이다. 회로 내 지락(임피던스=0)일 때 흐르는 고장전류에 대응하는 과전류 차단기의 차단시간이 규정시간(표 2)을 초과하지 말아야 한다.

$$Z_s \leq U_0 / I_a$$

여기서,　　Zs : 고장루프 임피던스

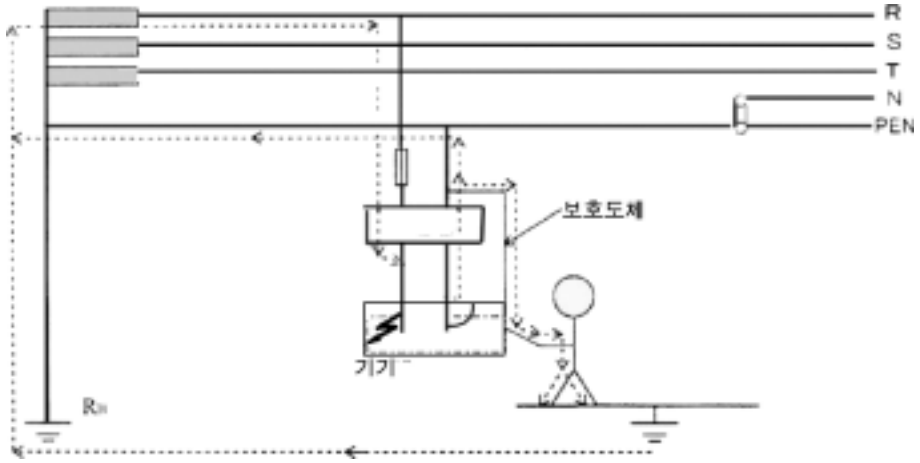
Ia : 정해진 시간(표 2 : IEC 60364 표 41A)내에 보호장치를 자동차단하는 전류

만약 고장루프 임피던스가 커서 상위 과전류 차단기가 규정시간 내에 차단동작이 가능한 고장전류를 흘려 보내지 않는 경우에는 보호장치로 누전차단기를 설치한다. 그러나 이것은 예외적인 경우이다.

표 2. TN 계통에서의 최대차단시간(IEC 60364 표 41A)

U_0[V]	차단시간(초)
120	0.8
230	0.4
277	0.4
400	0.2
400<	0.1

③ TN 계통에서 보호장치로 누전차단기를 설치하는 경우 PEN 도체 배선 개시점보다 하위의 충전선과 PEN 도체간의 단락시에는 상위 과전류 차단기가 곧바로 차단동작을 해야 한다. 그렇지 않으면 그림 8과 같이 보호도체, PEN 도체에 위험한 접촉전압이 발생하고 이를 경유해 기기의 노출도전성 부분에 위험한 접촉전압이 전달된다.
이 경우 그림과 같이 보호도체가 누전차단기의 영상변류기를 관통 하지 말아야 한다. 이러한 이유로 TN-C 계통에 누전 차단기를 적용하지 말아야 한다.



【그림8. TN 계통에서의 고장전류 경로】

2) TT 계통
그림 9는 TT 계통의 고장루프 구성을 나타낸 것이다.
TT 계통에서의 자동 차단조건은 $R_a \cdot I_a \leq 50V$이다.
단, Ra는 접지극의 접지저항과 노출도전성 부분을 접속하는 보호도체의 저항 합계 값, Ia는 누전차단기의 정격감도 전류이다(과전류 보호장

치와 달리 순시동작이다.)

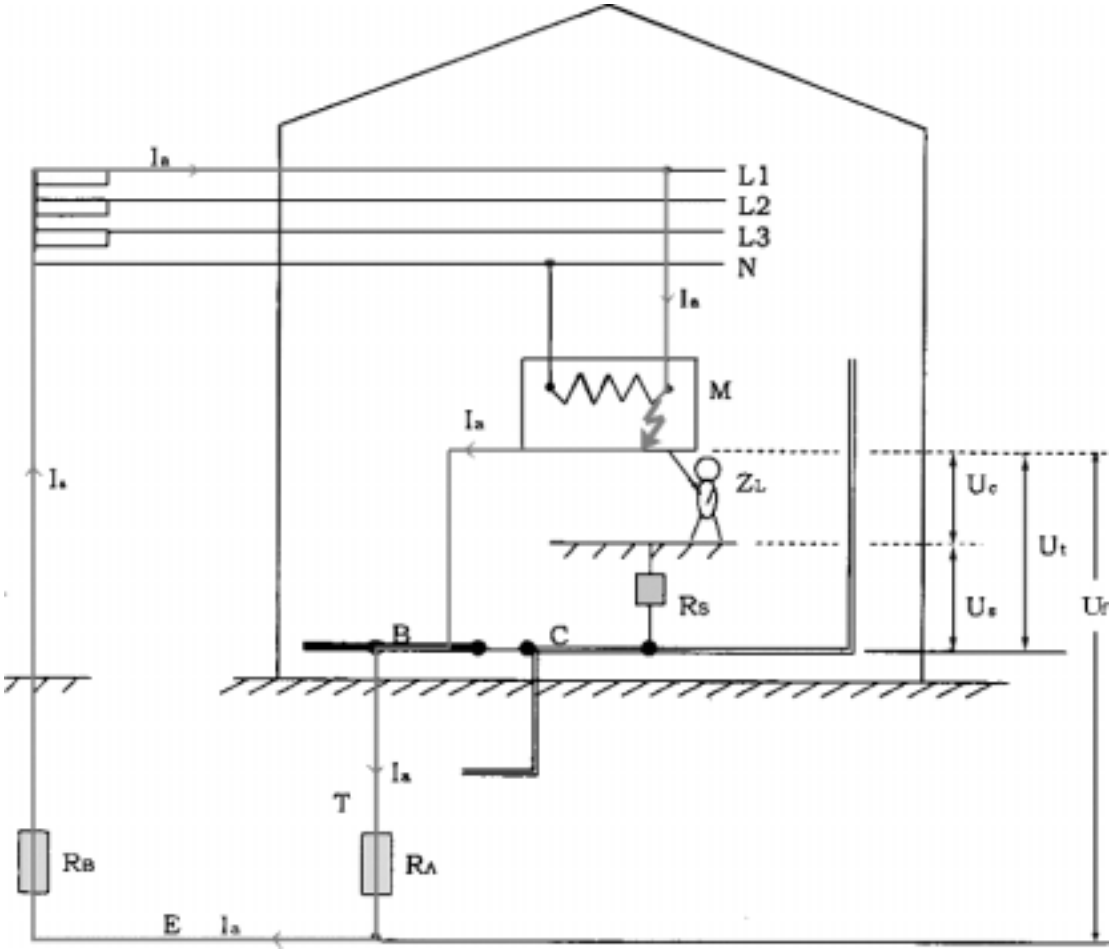
TT 계통에서 과전류 보호장치를 전원 자동차단에 의한 보호장치로 사용하는 경우는 다음 2가지 요구사항중 하나를 만족해야 한다.

① 반한시 특성(전류증가와 함께 차단시간 감소)의 보호장치를 사용하는 경우는 Ia에서 최대시간 5초 이내에 자동차단 동작하는 특성(곧 접촉전압 50[V]인 경우 5초 이내에 동작해 접촉전압 증가와 함께 동작시간이 줄어든다)의 보호장치이여야 한다. 이 조건을 만족하는 경우 고장발생시 추정접촉전압은 그림 10의 추정허용 접촉전압 시간곡선 이내가 된다.

② 순시차단 특성을 가진 과전류 차단기를 사용하는 경우에는 Ia가 순시동작가능 전류이어야 한다. 결국 과전류 차단기의 반한시 특성부분에서는 그림 5의 추정 허용 접촉전압-시간 곡선을 초과할 가능성이 크다.

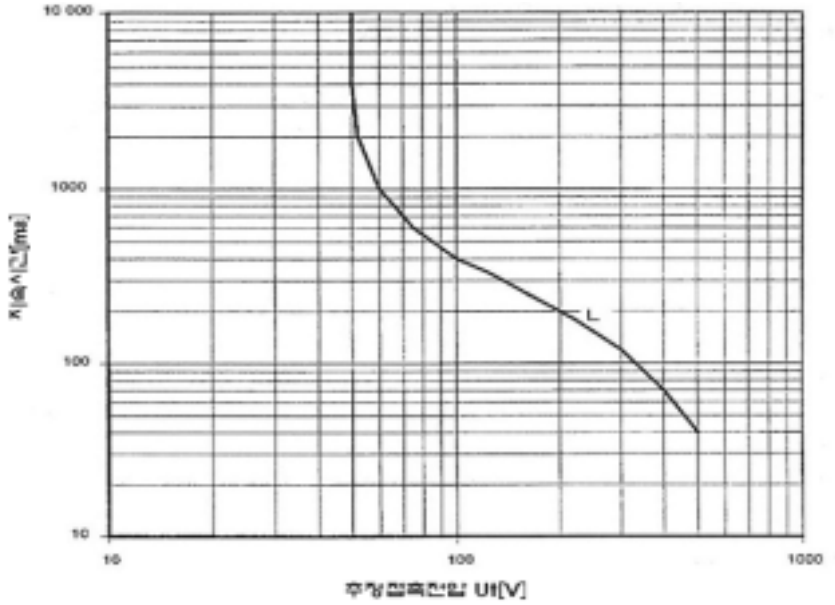
TT 계통에서는 과전류 보호장치가 극히 작은 R_A값인 경우에만 적용할 수 있다. 또한 큰 정격전류에서 큰 정격감도전류의 누전차단기를 사용하는 경우 만약 차단조건을 만족하지 않는 경우는 TT 계통에서 추가 등전위본딩을 설치에서 된다.

충전용 도체 중 하나인 중성선에서 회로내 지락이 발생한 경우에도 50[V]를 초과하는 접촉전압이 발생할 가능성이 있다. TT 계통에서 과전류 보호장치에 의한 전원 차단보호를 하는 경우 일반적으로 중성선에도 과전류 보호장치를 필요로 한다. 이런 경우 중성선 차단에 의해 과전압이 전달되는 것을 방지하기 위해 모든 극을 동시에 차단할 수 있는 과전류 보호장치(3상 4선인 경우는 4극 차단기)를 설치해야 한다.



L1, L2, L3 : 상도체 PEN : PEN 도체
M : 노출도전성 부분 Ia : 고장전류
R_A : 설비의 노출도전성 부분 접지저항
R_B : 전원 중성점 접지저항 Uc : 접촉전압
Z_L : 인체 임피던스 Ut : 추정접촉전압
U_S : Rs에 해당하는 전압강하 Uf : 고장전압
E : 대지(정의는 IEV 826-04-01)
Rs : 사람이 접촉하는 표면 또는 설비의 기준점 B(주요 등전위 본딩점)에 연결된 계통외 도전성 부분간의 저항
주) Rs는 사람이 이런 계통외 도전성 부분과 접촉했을 때 0이 될 가능성이 있다.
C : 보호도체 및 주접지 단자와 연결된 계통외 도전성 부분
B : 기준점(예를 들어 주요 등전위 본딩)

【그림9. TT 계통의 고장루프 구성】



【그림10. 일반상태의 추정접촉전압Ut의 최대시간】

라. 국내 내선규정 중 접지 내용의 문제점

국내 내선규정은 일본규정을 그대로 모방하여 적용하고 있는데 여기에 많은 문제점을 가지고 있다.

1) 일본의 접지시스템은 개별접지 방식(TT)으로 접지저항이 커 지락사고전류가 적게 흐른다. 이러한 이유로 적용되는 접지 도선의 굵기가 0.75 ~ 1.6mm의 너무 작은 크기로 출발하고 있다.(TN-C System인 미국의 경우 14[mm^2]부터 출발)
2) 현재 적용되고 있는 접지 System의 종류인 1, 2, 3 종과 특별3종의 수치 근거가 미약하거나 전혀 없다는 것이다. 2종을 제외하고 10[Ω], 100[Ω]의 문헌근거가 전혀 없다.
3) 한국 내 많은 수용가가 개별접지방식임에도 불구하고 공용접지방식을 채택하고 있어 보호계전기 선정의 문제와 전위상승의 복잡성으로 인해 접촉(Touch) 전압과 보폭(Step) 전압의 기준을 정할 수 없는 문제점이 있다.
4) 한국내 접지 System 방식이 IEC에서 권고하는 방식에 일치되지 못하는 시스템을 가지고 있다는 것이다.

5) 한국 내 접지 환경에서는 안전의 최종 보루인 누전차단기가 동작 할 수도 있고 동작하지 않을 수도 있다는 것이다.

3. 결　　론

앞서 살펴본 내용으로 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다.

가. 한국의 접지 System이 서로 공유할 수 없는 TN-C 방식과 TT 방식으로 혼용 사용되고 있어 누전차단기 오동작은 물론 각 장소별 사고전류에 따른 전위상승이 달라 보호계전기 선정 시스템에 문제점을 야기 시키고 있음이 확인되었다.

나. 수용가 측 접지를 TN-C 방식으로 채용할 경우 누전차단기가 동작하지 않을뿐더러 TN-C 접지방식에서는 누전차단기가 감전방지를 위한 필요 없는 차단장치임을 알 수 있다.

다. IEC/NEC 규격 이행을 위해 기술적 검토가 필요하나 우선 수용가 측의 접지 시스템(TT)을 한전 시스템(TN-C)과 일치시키는 것이 시급한 당면과제이다.

라. KS 규정을 포함한 현재 적용하고 있는 국내 기술기준과 내선규정 등의 대폭적인 개정 보완이 필요하며 전기 안전 공사의 사용전 검사 기술기준 변경이 요구된다.

최종 결론적으로, WTO/TBT(Technical Barriers to Trade) 협정의 기술기준에 적합하게 국내 접지기술규정도 변경되는 것이 합당하리라고 판단된다. 현재 진행 추이를 볼 때 WTO/TBT의 기술규정은 IEC(NEC와 IEEE의 기술규정은 포괄적 범위로 작성된 IEC 규정을 충분히 만족시키고 있는 것으로 판단된다) 기술규정으로 진행 될 것으로 보인다.

참고문헌

[1] "IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding", ANSI/IEEE Std 80-1986, 1986.

[2] 社)日本電氣協會, 社)電氣學會, 社)電氣設備學會, “電氣設備技術基準の解析に 導入された IEC60364(建築電氣設備)說明會資料”, 東京, Jan. 2000
[3] 정용기, 곽희로, 남택주, “WTO/TBT 협정에 준한 전기설비의 IEC 60364와 NFPA 70(NEC)의 비교적용에 관한 연구”, 2001년도 대한전기학회 전력기술부문회 춘계학술대회 논문집, 2001. 5.
[4] 高橋健彦, “圖解接地システム入門”, Ohmsha, 2001.
[5] ″Electrical Installation Requirements, A Global Perspective″, A report by Underwriters Laboratories Inc., Paul Duks, for the National Electrical Manufacturers Association, Rosslyn. VA, USA 1999.
[6] IEC Standard 60364, ″Electrical installations of buildings″, Internationale Electrotechnical Comission Geneva, Switzerland
[7] 社)日本電設工業協會, “電設工業”, Vol No. 539, 1997. 10.