

비접지배선 방식에 의한 전원 공급 시스템

김 영 배
영봉실업 아이소트론키리아

Isolated Power System : IPS

Y.B. Kim
Youngbong-Isotrol Korea

요 약

우리나라의 실내의 배전로는 접지방식(Grounded System)이 일반적이고, 전로의 일선 지락 시에는 누전전류 차단기 혹은 과전류 차단기에 의해 전로를 차단하여 전기적인 사고 예방을 도모하고 있다. 그러나, 생명 유지 장치(Life-Sustaining Equipment)를 사용하고 있는 수술실 등 의료실의 배전 계통에 있어서의 전로의 차단은 치명적인 사고를 유발 할 수 있다.

이에 비하여, 비접지 배선방식(Isolated Power System)은 일선 지락 시에도 지락 전류 (Ground-Fault Current)를 현저히 적게 할 수 있기 때문에 전원 공급은 계속되어 질 수 있다.

그러므로, 전원 공급의 높은 신뢰성이 요구되는 의료용 전기기기의 회로에는 비접지배선 방식으로 시설토록 규정하고 있다.

또한, 지락 전류가 현저히 적기 때문에 선로 절연 감지기(Line Isolation Monitor)를 설치하여 의료진이나, 환자를 누설 전류에 의한 전기적 쇼크(Electrical Shock)를 방지하는 시스템이다.

1. 서 론

접지시스템(Grounded System)과 비접지시스템(Isolated Power System)의 일선 지락 시 인체를 통하여 흐를 수 있는 누설 전류는 다음의 회로도를 통하여 쉽게 이해할 수 있다.

1.1 접지시스템(Grounded System)

<FIGURE 1>은 전통적으로 시설해 오고 있는 접지 시스템을 나타낸 것이다.

변압기의 중성선은 접지 되어 있다. 저항 수치는 인체의 조건 (수분 함유량, 근육상태, 피부 건조도 등)에 따라 100Ω에서 20,000Ω까지 다양 하지만 일반 성인의 저항 1000Ω을 기준으로 한 것이다.

만약 1000Ω의 저항을 가진 인체가 L선에 접촉하게 되면, 120V의 지락 전류가 흐르게 되고, 중성선-접지점을 통해 저임피던스(low impedance)를 경유하여 시스템으로 다시 돌아 오게 된다. ($I=V/R$, $120V=120V/1000Ω$)

이 누설전류는 1000Ω의 인체에 위험을 초래하게 되고, 누전차단기를 작동시켜(인체 감전보호용 정격감도 전류가 30mA이하) 전원 공급의 중단을 초래한다.

저항이 더 적은 인체나, 습기가 과다하게 많든지, 혹은 인체의 내부에 접촉하게 되면 더 크고 많은 치명적인 전류가 L선에 접촉된 인체로 흐를 수가 있다.

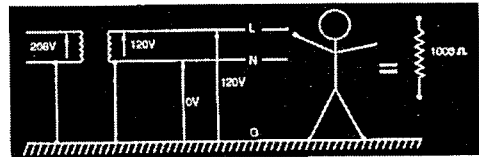


FIGURE 1. Conventional grounded system has one side of power line connected to ground. If the 1000-Ohm person touches the line (L), he will have 120 mA of current flowing through his body.

1.2 비접지시스템(Isolated Power System)

<FIGURE 2>는 비접지 시스템을 나타낸 것이다.

전원 공급선(중성선)과 접지 사이에는 의도적인 저항 접촉 연결이 없다. 지락시 1000Ω 인체에는 일반적인 접지시스템처럼 되돌아오는 회로에 저임피던스(low impedance) 접지점이 없기 때문에 내재적 치명적 쇼크의 위험으로부터 더 안전하게 보호되어 질 수 있다.

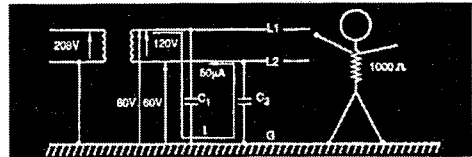


FIGURE 2. Isolated power system with 1000-Ohm person. Secondary side has no resistive path to ground, so if system net capacitance is low, human could contact either side of power line safely.

그러나, 교류 전기 특성상 대지와 각각의 두 전원선 사이의 본질적인 캐패시턴스(capacitance) 때문에 대지와 의 사이에 캐패시티브(capacitive) 회로가 존재한다.

<FIGURE 3>는 대지와 L1(via C1) 그리고 L2(via C2)를 통해 되돌아오는 아주 적은 누설 전류(50μA)를 가진 균형적인 캐패시티브(capacitive) 회로를 가정한 것이다. 고임피던스(high impedance) 볼트메타를 사용하면 시스

템 캐패시턴스를 통과하는 전압강하를 측정할 수 있다.

<FIGURE 3>에서와 같이, 균형적인 시스템에서는 접지와 각 전원선과의 전압은 60V가 될 것이다. 이때 L1과 접지, 또는 L1과 접지 사이를 누설 전류는 I 혹은 I 미터로 측정할 수 있다.

가정치 50 μ A 전류는 각각의 캐패시턴스가 갖는 임피던스가 $1.2 \times 10^6 \Omega$ 이라는 것을 의미한다.

$$(Z = V / I = 60V / 50 \times 10^{-6} = 1.2 \times 10^6 \Omega)$$

(50 μ A는 경부하 조건에서 접지에 대한 누설 전류량을 가정한 값이다.)

50 μ A 전류를 캐패시턴스로 환산하면 $C = 2.2 \times 10^{-9} F$, 혹은 0.002 μ F에 해당 된다. (60Hz)

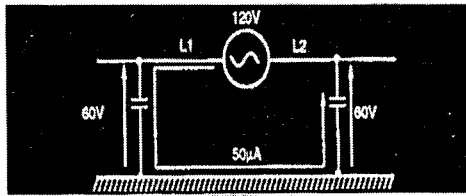


FIGURE 3. Schematic representation of typical distributed capacitance in an IPS.

아래계산에 의해 L1에 접촉되어진 1000 Ω 인체는 접지에 대해 하나의 고임피던스 회로를 형성하게 되고, 100 μ A보다 더 많은 누설 전류가 흐를 수도 있지만, 이 전류량은 아직도 지극히 낮은 수준이다.

인체를 통한 전압 (V.Person)

$$1000 / (1.2 \times 10^6 + 1000) \times 120 = 0.1V$$

C1를 통한 전압

$$1.2 \times 10 / (1.2 \times 10^6 + 1000) \times 120 = 119.9V$$

인체를 통한 전류 (I.Person)

$$120V / (1.2 \times 10^6 + 1000) = 100 \mu A$$

<FIGURE 4>는 위의 계산에 대한 등가 회로이다.

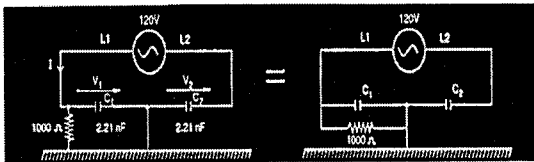


FIGURE 4. 1000-ohm person in contact with one line conductor and ground.

2. 본 론

다음의 <TABLE 1>에서 알 수 있듯이 비접지배선 방식은 일선 지락사에도, 접지 방식의 지락 사고시 흐르는 대누설 전류(120mA)에 비하여, 현저히 적은량 (0.1mA=100 μ A)의 누설 전류가 흐를 뿐이다. 즉, 절연 변압기 2차측, 배선이 접지되어 있지 않기 때문에 지락 사고의 경우 매우 적은 전류가 흐르며 전원의 차단 없이 계속 공급할 수 있어 (전원 공급의 연속성: Continuity Of Supply) 전원 공급에 대한 높은 신뢰성을 가질 수 있다.

그러나, 절연 변압기 및 배전 계통의 대지 정전용량 때

문에 캐패시턴스(Capacitance)가 증가하게 되면 사고의 우려가 있는 지락 전류가 흐를 수 있기 때문에, 소용량의 변압기와 배관 배선의 길이를 최소화 하여 시스템과 대지와의 임피던스(Impedance)를 최대화 시켜야만 한다. 그러므로, 비접지배선 시스템은 누설 전류가 우선적인 고려 사항 임으로 가급적 시스템을 작게 구성할 필요가 있다.

(The system must stay as small as possible to limit leakage currents).

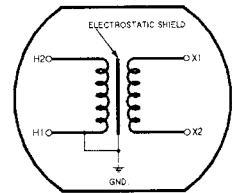
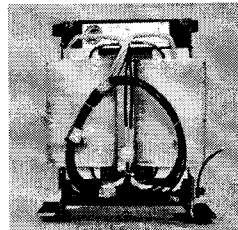
TABLE 1. COMPARISON OF VOLTAGE ACROSS AND CURRENT FLOWING THROUGH A PERSON

	Grounded	IPS
V.Person	120V	0.1V (with 50 microamp initial leakage)
I.Person	120mA	100 microamp (with 50 microamp initial leakage)

2.1 절연 변압기(Line Isolation Transformer)

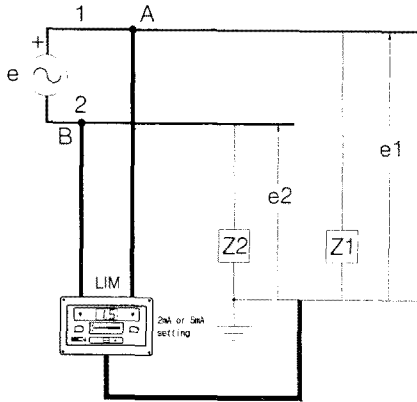
절연변압기의 1차 권선과 2차 권선을 물리적으로 완전히 절연(Isolation) 시키고, 2차 권선을 접지하지 않은 변압기를 말한다. 그러므로 이 변압기 2차측 어느 한상에 인체가 접촉되어도 감전이 되지 않지만, 대지 정전용량에 의한 지락사고가 있을 수 있으므로 소용량이 요구 된다.

전기설비기술기준은 IEC 601-1의 APPENDIX K Medical Isolation Transformers에 규정된 값과 정합 되도록, 최대 정격 용량을 7.5KVA 이하로 규정하고 2차 권선의 누설전류는 0.1mA 이하로 규정하고 있다.

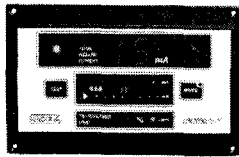


2.2 선로 절연 감지기(Line Isolation Monitor)

선로 절연 감지기(LIM)는 접지와 모든 선 (단상 혹은 삼상) 사이의 임피던스(레지스턴스와 캐패시턴스)를 계속적으로 감시하며, 어느 한선의 전선에 인체가 접촉(지락)되면 접지 방식으로 전환되어 일반 계기로는 누설전류량을 감지할 수 없기 때문에 일정값 이상의 누설전류가 흐르면 눈으로 볼 수 있고(Visible), 들을 수 있는(Audible)는 경보장치(Alarm signals)가 작동하도록 되어 있다. 일반적으로, 대지와 각각의 선 사이의 임피던스가 차이가 있으므로 지락전류도 다르기 때문에 선로 절연 감지기(LIM)는 흐를 수 있는 최대 누설전류치(Total Hazard Current : THC)를 나타낼 수 있도록 되어 있다. UL 1022 규정에 정합되도록 제작 되어야 한다.



- 선로절연감시 방식도(임피던스 측정방식) -



- BENDER LIM2000Plus™ -

2.3 전원공급 연속성(CONTINUITY OF SUPPLY)

“전원의 공급이 끊어지지 않고 계속 되어야만 하는 지역에는 IPS 전원을 공급해야 한다”는 것이, IPS시스템을 시설해야 한다는 가장 강력한 주요한 이유이다.

NEC 1987, Article 517-90-(c)에는 “습기 있는 지역에 설치되어 지는 콘센트(15A 혹은 20A, 125V)는 전원의 차단이 허용되는 곳에는 GFCI(Ground-Fault Circuit Interrupter)를 시설하고, 전원 차단이 허용되지 않는 곳에서는 Isolated Power System를 시설한다.”라고 명기되어 있고 국내규정인 전기설비기술기준 268조의 2항 3절에는 “흉부수술실, 심혈관 엑스선 촬영실 등의 전원차단이 의료에 중대한 지장을 초래할 위험이 있는 의료실의 콘센트 회로는 전로의 1선지락시에도 전원을 계속 공급할 수 있도록 절연변압기를 다음 각호에 적합하게 시설하여 비접지배선방식으로 공급하여야 한다.”라고 명기되어 있다.

IPS시스템의 장점을 접지시스템에 적용되는 GFCI와 비교하여 보도록 한다.

<FIGURE 5>는 접지 시스템과 비접지 시스템에 대한 개요이다.

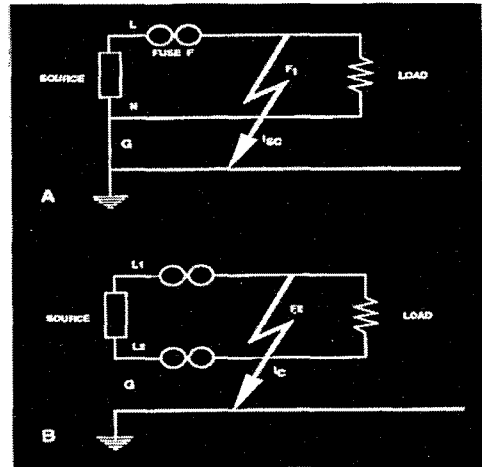


FIGURE 5. Schematic representation of both grounded (A) and ungrounded (B) power systems.

접지 시스템에서는 심대한 지락에 의한 단락 전류(large short-circuit current) ISC가 접지를 통해 흐르고, 등전위 접지(G)와 중성점을 통하여 전원 공급점으로 되돌아오게 된다. 이 전류의 크기는 단지 회로와 절연 임피던스에 의하여 결정되지만 일반적으로 수천 암페어가 된다.

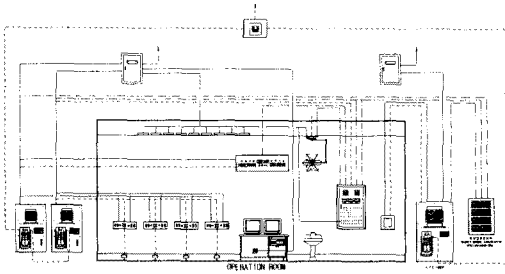
분명한 것은 퓨즈 F가 신속히 끊어지든지, 아니면 차단기의 경우 트립 되어진다. 같은 상황을 비접지 시스템에 비교해 보면, F2에서는 지락시 아주 경미한(very small) 전류 I_c가 접지를 통해 흐르게 되고 시스템 캐패시턴스를 통해 전원 공급점으로 되돌아오게 된다. 누설 전류 I_c의 크기는 회로와 절연 임피던스의 크기에 의하여 결정되며 이 경우는 시스템 캐패시턴스가 된다. (0.002#정도) I_c = 120V/1.2×10⁶Ω = 100μA

이런 일이 발생되면 비접지 배선 시스템은, 선로절연감지기(LIM)가 신속하게 조치를 취할 수 있도록 누설 전류 상태를 정보하게 되지만, 퓨즈가 끊기든지 혹은 차단기가 트립 되지는 않는다. 그러므로 연속적인 전원 공급은 유지되어 질 수 있다.

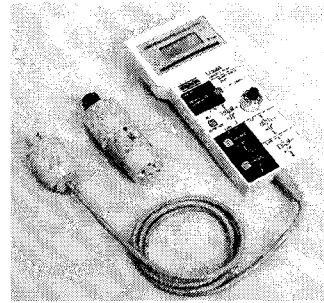
2.4 비접지 배전반 구성 및 수술실 전원 공급 계통

비접지 배전반(Isolated Power Panel)은 상기에서 언급한 절연변압기(Line Isolation Transformer), 선로절연 감지기(Line Isolation Monitor), 분기차단기(Branch breakers), 주차단기(Main breaker) 및 기준 접지센타(Reference Ground Bus)로 필히 구성 되어야 한다. 절연변압기의 용량은 7.5KVA 이하, 1Ø 2W 배선방식이며 선로절연감지기는 2mA(혹은 5mA)에서 경보장치가 작동 되도록 전기설비기술기준에 규정하고 있으며 비접지배전반 및 전원/접지모듈 등은 UL 1047에 규정에 의하여 제작되어 진다.

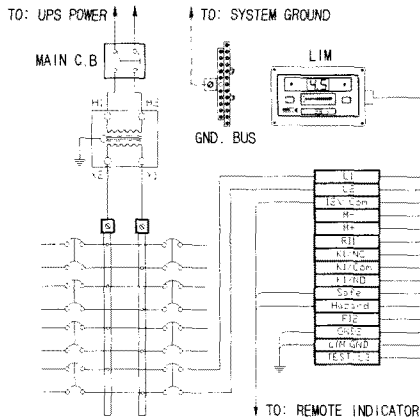
아울러, 전기설비기술기준에 언급된 보호접지 및 등전위 접지 등을 시설하여, 매크로쇼크(Macro-shock) 및 마이크로쇼크(Micro-shock) 대책에 최선을 다함으로서 비접지배선 시스템을 가장 효과적으로 운용 가능 하다.



- IPS 수술실 계통도 -



- BENDER LIM/GFCI Tester LT3000 -



- 비접지배선 방식도 -

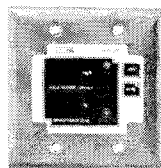
3. 결 론

비접지 배선 시스템(Isolated Power System)은 전원 공급의 연속성(Continuity of Supply) 때문에 높은 신뢰성과, 전기적인 위험(Electrical Shock)으로부터 보호 받을 수 있어 종래의 접지시스템에 비하여 탁월하게 안정적인 시스템이다.

특히, 전로의 차단이 치명적인 사고를 유발 할 수 있는 병원시설에는 아주 중요한 전원 공급 시스템이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 전기 설비 기술 기준 제 268조 2
- [2] 한국 산업 규격 KS C 0913
- [3] 한국 산업 규격 KS C 2623
- [4] 한국 전기 안전공사 기술 지침서 ESG - 1005
- [5] NFPA No.99 Standard for Health Care Facilities,
- [6] NFPA No.70 Article 517 of NEC Code,
- [7] UL 1047 Isolated Power Systems Equipment
- [8] UL 1022 Line Isolation Monitor
- [9] IEC Appendix K Medical Isolation Transfoms
- [10] Stephen J. Kay Med Medical Electronics



- ISOTROL SYSTEMS IPP & Remote Indicators -

2.5 비접지 배선 시스템 보수 및 관리

NFPA 99 및 전기안전공사 병원전기설비의 접지방식 지침 ESG 1005 에 의하면 "절연감시장치(LIM)로 상시 감시하는 경우는 시험버튼을 동작시켜 정상기능을 확인할 수 있도록 매주 1회 동작시험을 행한다.