

의료실의 비접지 배선방식 회로해석 및 적용에 관한 연구

(Study of Circuit Analysis & Application for Isolated Power System for the medically used rooms)

김영배*

(영봉실업ISOTROLKOREA 대표)
(Young-Bae Kim)

Abstract

Today, the sciences in medical and nursing fields are becoming progressively more dependent on electrical apparatus for the preservation of life of hospitalized patients. Therefore, it is required more safety medical power distribution system in order to protect patients and physicians more securely from unexpected leakage of current. Especially for the medically used rooms which use life sustaining equipment, power should be provided as supplying continuously without interrupting with lowest leakage current. This thesis proposed the reason why Isolation Power System is safety through the circuit analysis and applications.

1. 서론

전기설비기술기준과 한국산업규격의 병원 전기 설비의 안전 기준에 “의료실이란 진찰, 검사, 치료 및 감시등의 의료행위가 일어나는 병원 및 진료소의 장소를 말한다.”라고 규정하고 있으며 NEC Article 517 에서는 일반 치료구역(General Care Areas:환자 입원실, 진찰실, 각종 검사실 등), 중환자치료 구역(Critical Care Areas:수술실, 중환자실, 등) 및 물기 있는 지역(Wet Locations:젖은 상태에서 환자를 치료하는 구역) 등으로 구별되어지고 있다. 의료실은 사용용도에 따라 비접지식 배선방식 및 접지식 방식을 구별하여 시설함으로써, 안전성 있고 신뢰성 있는 전원을 공급하여 전기적인 사고로부터 환자 및 의료진을 보호 할 수 있도록 배선방식이 이루어져야 하며 특히 전원의 차단이 의료에 중대한 지장을 초래할 위험이 있는 의료기기를 사용하는 의료실의 콘센트회로는 전로의 일선 지락 시에도 전원을 계속 공급할 수 있도록 비접지식 배선방식으로 하여야 한다는 것과 절연변압기 2차 비접지배선회로의 각상과 대지사이의 지락사고 발생시 누설전류를 감지하기 위하여 누설전류감시장치(LIM : Line Isolation Monitor)를 설치하여 지락전류의 값이 2[mA]가 되면 경보장치가 작동하는 것이어야 한다고 규정하고 있다. 따라서 본 논문에서는 회로 해석을 통하여 비접지식 배선방식이 안전한 배선 방식임을 제시하고 의료실의 접지방식과 구성기기들의 적용방법을 제시키로 한다.

2. 본론

2.1. 접지식 배선

병원의 대부분의 의료실, 즉 일반치료구역(General Care Areas)의 전원공급 방식으로 종래에 전통적으로 시행해 오고 있는 가장 일반적 배선방식이다.

그림 1은 일반적인 접지식 배선방식을 보여주고 있다. 변압

기의 접지측 전선이 대지에 인위적으로 연결되어 있음으로 해서, 접지측 전선과 대지 사이는 등전위가 형성되며, 접지측 전선(Neutral:N)과 대지(Ground:G)사이는 전압이 0[V]가 되고, 전압측 전선(Live conductor:L)과 접지측 전선, 전압측 전선과 대지 사이에는 110[V]의 전압이 걸리게 된다.

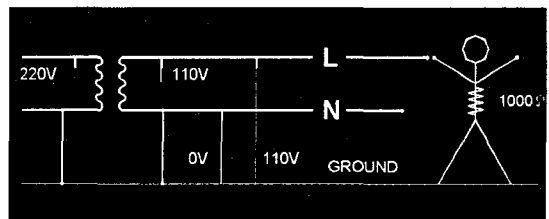


그림 1. 일반적인 접지식 배선방식
Fig. 1. Conventional Grounded system

만약 1000[Ω]의 인체 저항을 가진 사람이 전압측 전선(L)에 접촉하게 되면, 그림 2의 등가회로와 같이 전류가 흐름을 알 수 있다.

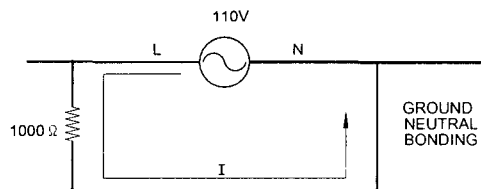


그림 2. 전압측 전선과 접촉한 인체의 등가 회로
Fig. 2. Schematic representation of person in contact with live conductor

$$I = \frac{V}{R} = \frac{110V}{1000\Omega} = 110[mA]$$

전압축 전선을 통해 흐르는 110[mA]의 누설전류는 접지측 전선-접지선 연결점을 통해 아주 낮은 저임피던스(Very Low Impedance) 회로를 경유하여 인체를 통하여 전원측 전선으로 되돌아오게 된다. 이 110[mA]의 누설전류는 우리들의 1000[Ω]의 인체에는 지극히 위험한 전류이다. (주: 상기 예에서는 시스템 정전용량(Capacitance)은 무시하였다. 왜냐하면 정전용량에 따른 임피던스의 값이 접지측 전선-접지선 연결에 의한 값에 대하여 비교가 안될 만큼 크기 때문이다.) 이때 누설전류는 작은 값이기 때문에 과전류차단기로는 차단되지 않으며 누전 차단기(그림 3)에 의해 전로를 차단함으로써 전기적인 사고를 예방 한다. 누전차단기는 KS C 4613의 규정에 적합하여야 하며 인체감전 보호용으로 정격감도전류가 30[mA]이하, 0.03초 이하에서 작동 되는 것을 시설토록 규정하고 있다.

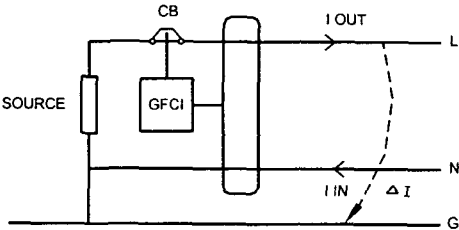


그림 3. 누전차단기의 개념도
Fig. 3. Schematic of GFCI

이러한 접지방식의 배선방식은 전로의 차단이 허용되는 의료실에만 사용 가능하며, 전로 차단 시 차단 원인을 찾아 신속히 전로를 복구 시켜야 한다.

접지방식의 배선방식은 일선 지락 시 접지측 전선-접지점을 경유한 저임피던스의 회로를 통하여 안전하게 전류를 대지로 흘려내릴 수 있도록 하여야 되기 때문에 접지의 신뢰성이 무엇보다 중요하다.

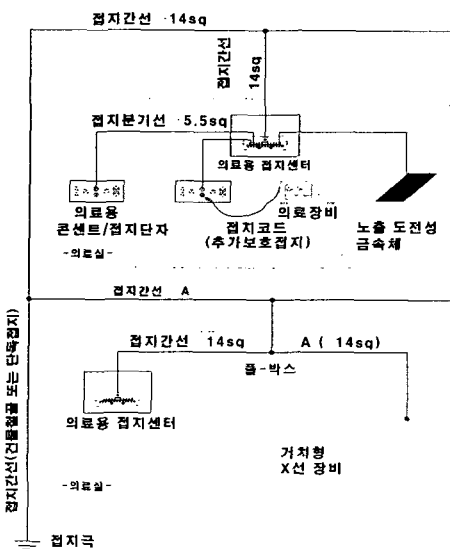


그림 4. 의료용 접지방식의 개념도
Fig. 4. Diagram of Hospital grounding

그러므로 그림 4와 같이 충전부의 접지 이외에 충전부절연 파괴를 대비하여 의료기기를 보호접지 하여야 한다. 즉, 피부 저항을 통한 감전(Macro shock)을 방지하는 대책으로서 장비 접지용 코드를 의료용 접지단자에 별도로 접속 해야만 한다.

2.2. 비접지식 배선

전원 공급의 신뢰성이 요구되는 생명유지장치(Life sustaining equipment)를 사용하고 있는 중환자치료구역(Critical Care Areas) 즉, 수술실, 중환자실 등 의료실의 전로 차단은 그 자체로서 치명적인 사고를 유발할 수 있기 때문에 일선 지락 시에도 지락전류를 현저히 적게 할 수 있어 전원의 연속적인 공급이 가능한 비접지식 배선방식(Isolated Power System)으로 배선토록 규정하고 있다.

그림 5는 비접지식 배선방식의 개념도이다. 계통의 정전용량의 증가를 가져올 수 있는 외부장비를 연결하지 않은 순수 비접지배선회로의 상황을 고려한 것이다. 비접지식 배선방식은 변압기의 접지측 전선(Neutral)-접지선(Ground) 연결을 의도적으로 아니한 것이다. 이 사례에서 1000[Ω]의 저항을 가진 인체가 잠재적인 치명적 전기쇼크로부터 보호될 수 있는 이유를 회로 분석을 통하여 검토해 보기로 하자.

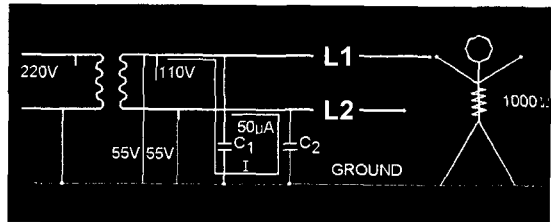


그림 5. 비접지식 배선방식
Fig. 5. I.P.S with a typical 1000 ohm person

그림 6은 소량(50[μA])의 누설전류가 L1으로부터 C₁을 경유하여 대지를 거쳐 C₂를 경유하여 L2로 되돌아오는 고임피던스의 등가회로를 가정한 것이다. (50[μA]는 일반적인 경우하 시스템에서의 전압축 전선과 대지 사이의 누설전류를 가정한 수치이다.) 고임피던스 볼트메타를 사용하면 시스템 정전용량을 가로 지르는 전압강하 측정이 가능하다. 상기 등가회로에서 보는 바와 같이 각각의 전선(L1 혹은 L2)과 대지사이의 전압은 55[V]를 예상할 수 있다. 이때 누설전류는 L1과 대지, 혹은 L2와 대지 어느 쪽이든지 마이크로암페어 메타로서 측정 가능하다.

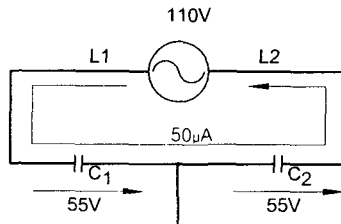


그림 6. 비접지식 배선의 정전용량에 의한 전류 흐름도
Fig. 6. Schematic representation typical distribution capacitance of an I.P.S

그림 6의 등가회로인 그림 7을 Ohm의 법칙을 이용하여 회로를 좀더 구체적으로 분석해 보기로 한다.

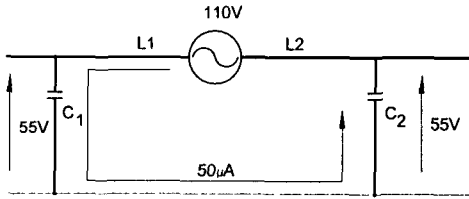


그림 7. 비접지식 배선계통의 정전용량에 의한 전류 흐름의 등가회로
Fig. 7. Reduced Schematic of an I.P.S

· C₁ 및 C₂의 임피던스 값은

$$X_C = \frac{V}{I} = \frac{55}{50 \times 10^{-6}} = 1.1 \times 10^6 [\Omega]$$

· 선과 대지간의 정전용량 값은

$$C = \frac{1}{\omega X_C} = \frac{1}{2\pi 60 \times 1.1 \times 10^6} = 2.41 \times 10^{-9} [F]$$

그림 8의 등가회로를 통하여 L1에 1000[Ω]의 저항을 가진 인체가 접촉하게 되었을 때 어떤 결과가 일어나는지 분석해 보기로 한다.

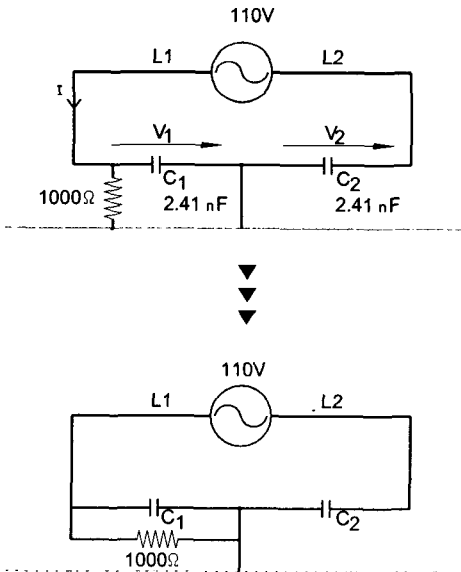


그림 8. 비접지식 배선계통의 인체접촉 등가회로
Fig. 8. Person in contact with L1 and ground

1000[Ω]의 저항체에 인가되는 전압 및 L1에서 L2로 흐르는 누설전류 총합을 계산해 보자.

1000[Ω]의 저항을 가진 병렬회로의 합성임피던스 값은 다음과 같다.

$$\frac{R \times X_C}{R + X_C} = \frac{1000 \times (1.1 \times 10^6)}{1000 + (1.1 \times 10^6)} = 999 [\Omega]$$

이 수치는 실제로 임피던스가 우리 인체와 C₁ 정전용량회로로 분기되어 진다는 것을 보여준다. 그러나 계산편의를 위해 1000[Ω]으로 간주한다. 따라서 그림 9와 같이 등가회로로 되어진다.

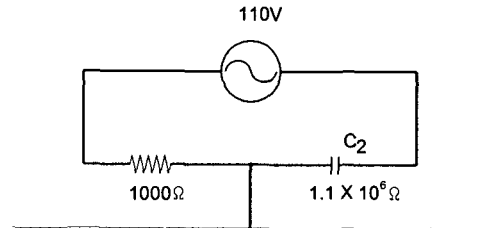


그림 9. 비접지식 배선계통의 등가회로의 개략도
Fig. 9. Reduced representation of an I.P.S

누설전류 : I_g

$$I_g = \frac{V}{Z} = \frac{110}{1000 + (1.1 \times 10^6)} = 0.1 [\text{mA}]$$

인체에 인가되는 전압 : V_P

$$V_P = \frac{1000}{1000 + (1.1 \times 10^6)} \times 110 = 0.1 [V]$$

C₂를 통해 걸리는 전압 : V_{C2}

$$V_{C2} = \frac{1.1 \times 10^6}{1000 + (1.1 \times 10^6)} \times 110 = 109.9 [V]$$

인체를 통해 흐르는 전류 : I_P

$$I_P = \frac{110}{1000 + (1.1 \times 10^6)} = 0.1 [\text{mA}]$$

위의 계산에서 나온 결과와 같이 비접지식 배선방식에 의한 전원공급시스템(I.P.S)은 분명히 의료진이나 환자들을 전로의 차단 없이 전기적인 쇼크의 위험으로부터 안전하게 보호할 수 있는 시스템이다.

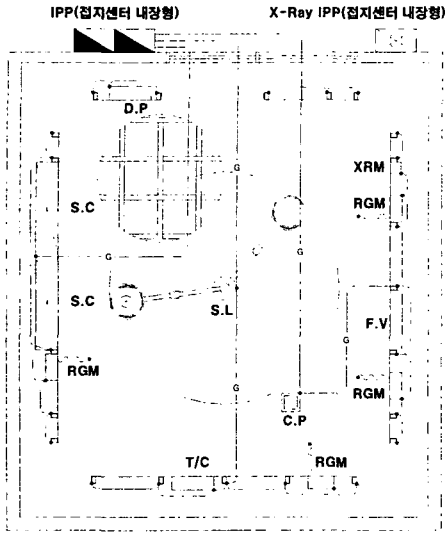
| | 접지식 배선회로 | 비접지식 배선회로 |
|----------------|----------|-----------|
| V _P | 110[V] | 0.1[V] |
| I _P | 110[mA] | 0.1[mA] |

* IPS : with 50µA initial leakage

2.3. 의료실의 접지 및 배선방식 적용

2.3.1 의료실의 접지방식

비접지식 배선계통으로 전원이 공급되는 의료실은 2.1항에서 언급한 보호접지시설 이외에 전위가 전달될 수 있는 노출도전성부분 및 계통외의 도전성부분이 등전위가 될 수 있도록 그림 10과 같이 각종 전기기기, 벽체 및 바닥까지도 등전위접지(Equipotential Grounding)를 하여야 한다. 이것은 피부를 통하지 않고 누설전류가 심장으로 직접 흘러 일어나는 감전방지(Micro shock) 대책이며 도전성부분 간 전위차를 10[mV]이하로 유지시켜야 한다.



IPP : Isolated Power Panel
 RGM : Receptacle and Ground Module
 XRM : X-ray Receptacle Module
 T/C : Timer/Clock
 S.C : Surgical Cabinet
 D.P : Data Panel
 S.I : Surgical Light
 C.P : Ceiling Pendant
 F.V : Film Viewer

그림 10. 수술실 등전위접지 평면도
 Fig. 10. Plan of equipotential ground

표 1은 KS C 0913 병원전기설비안전기준에 의거한 의료실의 사용 목적에 따라 보호접지 및 등전위 접지설비 및 비접지 배선방식의 적용사례이다. 수술실, 중환자실 등 전원의 공급이 연속적으로 이루어져야 하는 의료실은 비접지 배선방식으로 전원을 공급하도록 규정하고 있으며, 아울러 보호접지 및 등전위접지 시설을 하도록 규정하고 있다.

표 1. 의료실 접지 및 배선방식의 적용
 Table 1. Application of grounding and wiring

| 의료실 | 의료용 접지방식 | | 비접지배선방식 |
|-------------|----------|-------|---------|
| | 보호접지 | 등전위접지 | |
| 총부 수술실 | ● | ● | ● |
| 일반 수술실 | ● | ▲ | ● |
| 회복실 | ● | ▲ | ▲ |
| ICU(집중 치료실) | ● | ● | ▲ |
| CCU(심혈관계) | ● | ● | ▲ |
| 중환자실 | ● | ▲ | ▲ |
| 심혈관 X선 촬영실 | ● | ● | ● |
| 분만실 | ● | ▲ | ▲ |
| 생리 검사실 | ● | ▲ | X |
| X선 검사실 | ● | X | X |
| 진통실 | ● | X | X |
| 일반병실 | ● | X | X |
| 진찰실 | ● | - | - |
| 검체 검사실 | ● | - | - |

기호의 뜻 ● : 설치하지 않으면 안된다.
 ▲ : 설치하는 것이 좋다(비필수).
 X : 설치하지 않아도 된다.
 - : 배선 없다

2.3.2 비접지 배선방식의 적용

비접지식 배선계통은 대지와 전로간의 임피던스를 높게 유지하기 위해 절연변압기의 용량, 배선 및 의료기기의 대지정전용량을 일정값 이하로 억제하여야 되기 때문에 가능한 시스템의 구성을 작게 하여야 하며 향후 증가될 전기적 의료장비들의 누설전류도 고려해야 한다. 비접지배전반은 절연변압기(Isolation transformer), 선로절연감지기(Line Isolation Monitor), 주차단기(Mainbreaker), 분기차단기(Branch breakers) 및 기준접지센타(Reference Ground Bus)를 필수 구성품으로 하며, 절연변압기는 1차 권선과 2차 권선을 물리적으로 완전하게 절연(Isolation) 시키고, 2차 권선을 접지하지 않은 변압기를 말한다. 그러므로 이 변압기 2차 측 어느 한선에 인체가 접촉되어도 감전이 되지 않지만, 대지 정전 용량에 의한 지락사고가 있을 수 있으므로 소용량이 요구 된다. 전기설비기술기준은 IEC 601-1의 APPENDIX K Medical Isolation Transformers에 규정된 값과 정합되도록, 최대 정격용량을 7.5[kVA] 이하, 2차 측 전로의 정격전압은 300[V]이하, 1Ø 2W 배선방식으로 규정하고 2차 권선의 누설전류는 0.1 [mA] 이하로 규정하고 있다. 선로절연감지기는 접지와 모든 선(단상 혹은 삼상)사이의 임피던스(R, X_L, X_C)를 계속적으로 감시하며 절연파괴로 인하여 접지방식으로 전환되어 어느 한선의 전선에 인체가 접촉(지락)되면 누설전류가 인체를 통하여 흐르기 때문에 일정값 이상의 시스템 누설전류가 흐르면 경보장치가 작동 하도록 되어 있다. 일반적으로, 대지와 각각의 선사이의 임피던스가 차이가 있으므로 지락전류도 다르기 때문에 선로절연감지기(LIM)는 흐를 수 있는 최대 누설전류량(Total Hazard Current : THC)을 나타 낼 수 있도록 되어 있다. 선로절연감지기는 2[mA]에서 경보가 작동되도록 전기설비기술기준 제268조의 2항에 규정하고 있으며, 전기안전기술지침 ESG-1005 및 NFPA No.99에 의거하면 전기적인 의료장비의 증가에 대응하여 1978년부터 5[mA]에서의 경보도 허용하고 있다. 그림 11은 비접지배전반의 구성도 이다.

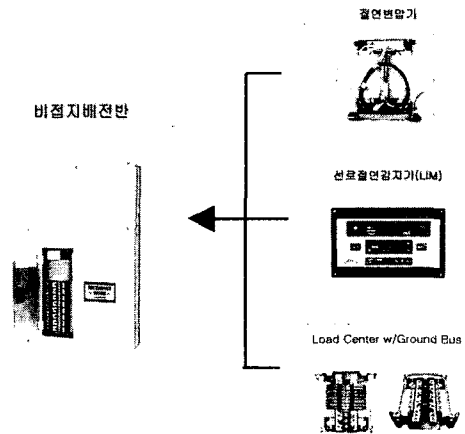


그림 11. 비접지배전반의 구성
 Fig. 11. Component parts of Isolated Power Panel

2.4. 접지식배선과 비접지식배선 비교

표 2에서 보는 바와 같이 접지식 배선방식 및 비접지식 배선방식의 가장 큰 차이점은 접지식 배선은 일선 지락 시 전로가 차단되나 비접지식 배선은 전원의 연속적인 공급이 가능함을 알 수 있다. 특히 전로의 차단이 치명적인 사고를 유발할 수 있는 수술실 등 중환자치료구역의 의료용 전기기기의 회로에는 지락 시에도 전원의 연속적인 공급이 가능하고, 감전 사고를 방지할 수 있는 비접지식 배선은 종래의 접지식 배선에 비하여 탁월하게 안정적이라고 할 수 있다.

- (6) NFPA No.99 Standard for Health Care Facilities pp38-39, pp71-83 2002 Edition
- (7) UL 1047 Isolated Power Systems Equipment
- (8) UL 1022 Line Isolation Monitor
- (9) IEC Medical Equipment, 1988 Appendix K Medical Isolation Transformers
- (10) Stephen J. Kay Med Medical Electronics pp 2-5, 1989.

표 2. 접지식 배선과 비접지식 배선의 비교
Table 2. Comparison of Grounded system vs IPS

| 항 목 | 접지식 배선 Grounded | 비접지식 배선 I.P.S |
|---------------|------------------------------|--------------------------------|
| Impedance | 저임피던스 1000Ω | 고임피던스 1101000Ω |
| V.person | 110V | 0.1V |
| I.person | 110mA | 0.1mA |
| 보호대책 | •누설전류 차단기 •과전류 차단기 | •절연변압기 + •선로절연감지기 |
| 전원공급연속성 | 전로차단 | 연속적 전원공급 |
| 접지(Grounding) | • 보호접지 | • 보호접지 + • 등전위접지 |
| 적용대상 | 일반치료구역 General Care Areas | 중환자치료구역 Critical Care Areas |

3. 결 론

수술실, 중환자실 등 생명 유지를 위한 전기 기기를 사용하는 의료실의 배선방식은 일선 지락 시에도 전원의 연속적 공급이 이루어져야 하므로, 회로 해석을 통하여 비접지배선 계통이 전로의 차단 없이 안전하게 전원을 공급할 수 있다는 것을 증명하였으며, 이를 통하여 비접지식 전원공급을 위한 절연변압기 설치와 또한 누설전류 감지를 위한 선로절연감지기를 설치하여 접지와 모든 전원 측 배선과의 임피던스를 계속적으로 감시하여 최대 누설전류 값이 2[mA]가 되면 경보가 발생 되어 환자와 의료진을 전기적인 사고로부터 예방 가능한 비접지 배선방식을 구성하여야함을 제시하였다.

References

- [1] 전기설비기술기준 제 268조 2, 1999
- [2] KS C 0913 병원전기설비의 안전기준, 1986
- [3] KS C 2623 의료용 접지센터보드 및 접지단자, pp13, 1981
- [4] KS C 4613 누전차단기, 4-a)-f) and g), 2002
- [5] 한국전기안전공사 기술지침서, ESG-1005 pp11-53, 1996