

X-선 장치의 전기적 안전

지산전문대학 방사선과

김 정 민

I. 진단용 X-선 장치의 전기적 안전

진단용 방사선 발생장치 안전관리규칙이 발효되고 각급 병·의원에 안전관리책임자가 선임되었다. 안전관리책임자로는 의사, 치과의사가 많은 부분 차지하고 있고 안전관리책임자가 아닌 방사선사, 간호사들은 전기적 안전에 큰 관심을 가지고 있지 않을 수도 있다.

“진단용 X-선 장치의 전기적 안전”은 안전관리책임자 뿐만 아니라 방사선시설에 근무하는 모든 관계자들이 소홀히 할 수 없는 분야이다.

이 강좌는 진행 순서를 진단용 X-선 장치는 무엇이고, 전기는 무엇이며, 안전은 어떻게 확보할 수 있는가를 기술하여 제목에 걸맞는 차례가 되도록 기술하였다.

의료분야에서 의료용 전기 안전장치 및 전기설비의 전기적 안정성과 성능 등을 만족시키기 위해서는 이러한 장치의 설계 및 제작이 국제전기위원회(IEC)에서 제정한 기준에 적합하게 되어야 한다. 이 기준들은 새로 개발되는 장치 및 설비들의 설계와 제작에도 적용되며, 또한 이러한 장치나 설비 등의 수리 또는 구조 변경시에도 반드시 적용되어야 하고, 그 기준의 일반적인 사항은 다음과 같다.

- 1) 장치는 무조건 안전하여야 하며, 관련 국제전기위원회(IEA) 기준에 적합하여야 한다.
- 2) 설비는 무조건 안전하여야 하며, 해당국가의 규격에 따라야 한다.

3) 사용 설명서는 사용자 측에서 보았을 때 적절해야 하며, 또한 경고문이나 표시사항은 반드시 사용자가 이해할 수 있는 언어로 작성되어야 한다.

4) 의료용 전기장치의 사용자는 업무와 관련된 의학지식 뿐만 아니라 사용하는 의료용 전기장치에 관한 기본적인 안전특성과 성능을 알아야 한다. 그러기 위해서는, 보건 관련조직의 임상공학 부서나 장치의 제조회사 등과 같은 적절한 관련기관의 책임 하에 교육이 이루어져야 한다.

5) 장치를 사용하는 기관의 운영부서는 반드시 의료용 전기장치 및 설비의 안전과 성능이 적절한 조직에 의해 지속적으로 유지됨을 보증하여야 하는데, 이것은 적절하게 구성된 조직(가칭 임상 공학부)을 이용하여 장치 및 설비유지 계획에 의한 규칙적인 점검과 유지보수를 통하여 가능하다.

다음은 국제 전기위원회(IEC) 규격 중에서 의료용 전기장치들의 안전에 관한 규격들이다.

- 1) Publication 73(1984) : 장치의 지시등과 푸시버튼의 색
- 2) Publication 407(1973) : 10 kV에서 400 kV까지의 의료용 X-선 장치의 방사선방어
- 3) Publication 417(1973) : 장치에서 사용되는 그림 심벌
- 4) Publication 514(1976) : 의료용으로 사용되는 전기장치의 안전에 관한 기본개념

본 원고는 부산경남지역 “방사선 안전관리 책임자 교육”의 내용을 요약한 것임.

- 5) Publication 601-1(1977) : 의료용 전기 장치의 안전에 관한 일반사항
- 6) Publication 601-2 : 의료용 전기장치의 안전에 관한 세부사항
- 7) Publication 788(1984) : 의료용 방사선학의 용어해설

II. 진단용 X선 장치

진단용 X선 장치는 의료용 전기장치(EM기기) 중의 하나(IEA 기준에 적합하여야 한다)이며, 궁극적으로 X-선은 전자를 금속에 세계 충돌시킬 경우에 발생시킬 수 있는데, 전자를 만들거나 세계 금속에 부딪히게 하기 위하여 전기가 사용된다.

진단용 X-선 장치는 그 목적인 X-선을 발생시키고 양과 세기(質)를 자유롭게 조정하기 위하여 관장치, 고전압 발생장치, 제어장치 등 3부분으로 나눈다(그림 1).

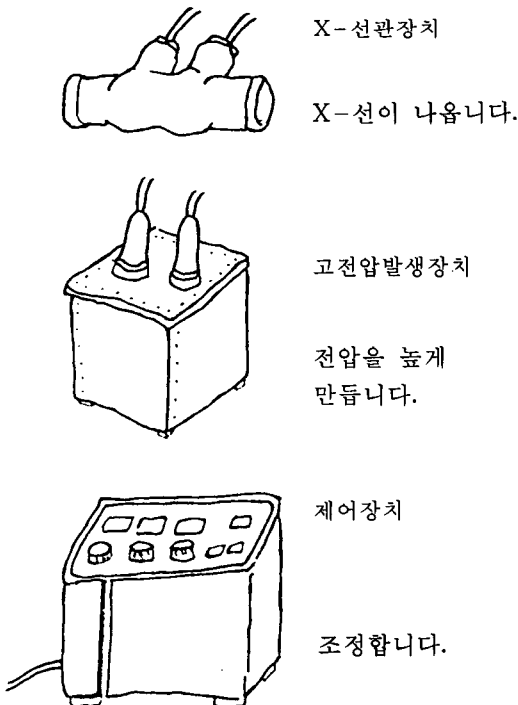


그림 1. 진단용 X-선 장치의 구성

1) 관장치

X-선을 발생하는 곳
유리관-진공 : 전자가 자유롭게 이동할 수 있게 하였다.

전자를 만드는 필라멘트와 그 전자가 부딪칠 수 있는 금속판을 마주보게 설계되어 있다. 전자를 많이 만들어 많이 부딪치게 하면 많은 양의 X-선을 발생하며, 관전류에 비례한다. 전자를 가속하여 세계 부딪히게 하면 세계 부딪칠수록 센 X-선을 발생하여 관전압에 지수적으로 비례한다.

2) 고전압 발생장치

전자를 가속할 수 있는 원리는 전자는 본래 마이너스(-)이므로 마이너스로 밀고 플러스로 당기면 가벼워서 가속된다. 이때, 공간이 진공이면 더욱 움직이기 쉽다. 전자가속을 위한 플러스와 마이너스 전압의 크기(전위차, 전압)는 통상 4만볼트로부터 15만 볼트 사이로 높다. 변압기로 전압은 자유롭게 높이거나 낮출 수 있으며, 고전압 발생장치란 이 변압기를 말하고 이 전압을 관전압이라 한다. 따라서, 위험요소 많고 고전압 발생장치로부터 X-선관까지 전기를 보내는 전선을 고압케이블이라 한다.

3) 제어장치

많은 전자를 만들기 위해서는 많은 전류를 흘려야 하고, 세계 전자를 가속하려면 전압을 조절해야 한다. 오랜 시간 동안 X-선을 조사하고 싶으면 시간 조절도 가능해야 한다. 따라서, 관전류조절기, 관전압조절기, 타이머로 구성된 조절장치를 제어장치라 한다.

진단용 X-선 발생장치는 그 형식상 다음과 같이 여러 종류가 있다.

- 1) R-100-100 : 촬영만 가능한 것으로 최고 관전류 100 mA, 최고 관전압 100 kV
- 2) RF-500-150 : 촬영과 투시가 가능한 것으로 최고 관전류 500 mA, 최고 관전압

100 kV

- 3) TRF-1500-150 : 삼상전파정류 장치로 촬영과 투시가 가능한 것으로 최고 관전류 1500 mA, 최고 관전압 150 kV
- 4) CR-1-125 : 콘덴서 장치로 촬영만 가능한 것, 최고 관전류 100 mA, 최고 관전압 100 kV
- 5) CRF-1-125 : 콘덴서장치로 촬영과 투시가 가능한 것으로 콘덴서 용량 1 micro F 최고 충전전압 150 kV
- 6) D-80-S : 구내촬영용으로 최고관전압 80 kV, 동시점화방식
- 7) D-100-P : 구내촬영용으로 최고관전압 100 kV, 선점화방식
- 8) D-100-PZ : 구내촬영용으로 최고관전압 100 kV, 전파정류방식
- 8) DP-80-P : 파노라마 촬영용으로 최고관전압 80 kV, 선점화방식

III. 전 기

1) 전기의 본질 : 전자의 이동

2) 전기의 발생원

마찰, 빛, 열, 화학작용, 압력, 자기-실용전기의 발생원

- ① 발전 : 발전기(수력, 화력, 원자력)
- ② 송전 : 고압으로 보낸다. 손실방지, 345 kV
- ③ 변전 : 저압으로 내려 가정, 병원으로 보낸다. 병원(가정)

3) 용어

- ① 전류 : 이동하는 전자의 수
- ② 전압 : 전자를 밀어내는 힘
- ③ 저항 : 전자의 이동에 걸리적거리는 요소
- ④ 옴의 법칙
전류=전압/저항
전압=전류×저항
저항=전압/전류
- ⑤ 전력=전압×전류
- ⑥ 변압기 : 교류전압을 마음대로 올리고 내릴 수 있는 전기기기
- ⑦ 교류 : 플러스 마이너스와 크기가 시간적으로 변함 60사이클
- ⑧ 직류 : 플러스 마이너스와 크기가 시간적으로 변하지 않음. 건전지
- ⑨ 퓨우즈 : 너무 많은 전류가 흐르면 녹아 끊어지게 되어 있는 안전장치
- ⑩ 접지 : 대지로 전류가 통하도록 만든 지로
- ⑪ 활선 : 현재 전류가 흐르고 있는 상태의 전선
- ⑫ 단락 : 전선의 두 가닥이 붙은 상태(short circuit) 저항이 아주 적어 대단히 큰 전류가 흐른다.
- ⑬ 단선 : 전선이 끊어진 상태(open circuit)
- ⑭ 테스터 : 전압계, 전류계, 저항계가 함께 붙어 있는 계기

IV. 전기적 안전

전기 재해를 사고의 유형별로 분류하고, 대책을 순서대로 설명한다.

표 1. 전류값과 영향

전 류 치(mA)	영 향
1 이하	전기적 충격이나 짜릿함을 느낀다.
5	아픔을 느끼고 후에 빠근함이 남는다.
10	견딜 수 없을 정도의 고통을 느끼고 전류의 유입점에 상처가 생긴다.
20	근육이 수축하며 또한 경련을 일으키고 신체의 자유가 듣지 않는다.
30	화상과 같은 병상이 일어나며 의식을 잃기도 한다.
50	호흡이 정지되거나 경우에 따라서는 심장의 기능이 정지하거나 한다.
100	치명적 결과를 발생, 대부분의 경우 사망한다.

1) 전격과 감전

가. 감전전류

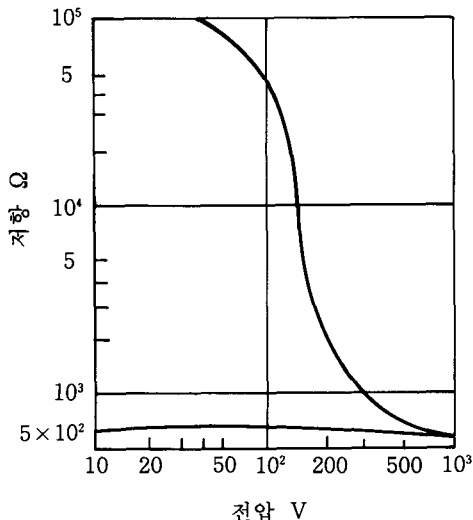
전격이란 외부로부터 전압이 걸려서 전류가 흘러 인체의 근육을 제어하거나 상해를 주는 것을 말한다.

나. 인체저항

옴의 법칙에 의하면 인체에 흐르는 전류는 인체에 걸리는 전압을 인체저항으로 나눈값이 된다. 인체저항이 작으면 큰 전류가 흐른다.

그림 2는 손에서 발 사이의 인체저항으로 전압에 따라 다르다. 10볼트일 때에는 10만 옴인데, 100볼트가 되면 4만 옴 정도가 되며, 200볼트로 높아지면 200옴 정도가 되고, 1000볼트가 되면 절연이 파괴되어 500옴 이하가 된다.

표준적인 인체저항은 최악의 경우를 생각하여 400옴에서 2000옴 사이라고 생각된다.



(전류 경로 : 손→발, 전극 : 10~12 cm)

그림 2. 인체저항변화

다. 안전전압

인체가 많이 젖어 있는 상태 또는 금속제 구조물에 인체의 일부가 항상 접촉되어 있는 상태에서는 25볼트를 초과하면 위험하다. 실제로 일본에서는 35볼트에서 사망한 예가 있다.

표 2. 각국에서 채용하고 있는 안전전압

국명	안전전압(V)
독일	24
영국	24
오스트리아	65(0.5초) 110~130(0.2)초
벨기에	35
스위스	36
네덜란드	50
프랑스	24(AC) 50(DC)

라. 감전의 통로

인체가 감전되는 경로는 그림 3과 같다.

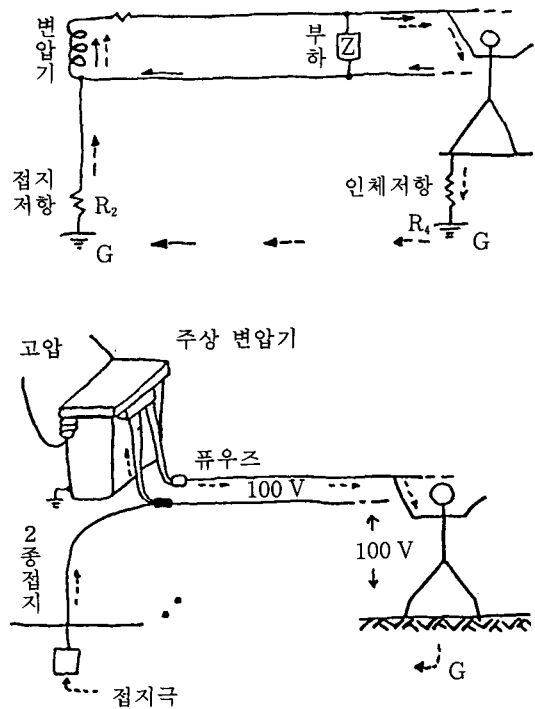


그림 3. 감전 경로

마. 감전 통계

감전의 사망률은 약 40%로 매우 높다. 1965년 전체 노동재해 사망자수에 비해 감전 사망은 6.6%이었으며, 1975년 전체 노동재해 사망자수에 비해 감전사망은 4.1%이었다.

표 3. 노동재해에서의 감전사망

구 분		%
고 전 압	전 기 취 급 자	36
	일 반 작 업 자	28
저 전 압	전 기 취 급 자	9
	일 반 작 업 자	27
계		100
일 반 과 의 구 분	전 기 취 급 자	45
	일 반 작 업 자	55

바. 감전방지대책

① 활선작업 금지

전기위험의 일차적 위험요소는 전기위험을 모르거나 관심이 없는 것으로 누구든지 활선의 근처나 활선에서 작업은 금지하여야 한다. 부득이 한 경우도 있겠으나 전문가가 아니면 금한다.

그림 4와 같은 검전기 등을 반드시 휴대하고 활선유무를 확인한 후에 작업을 해야 한다.

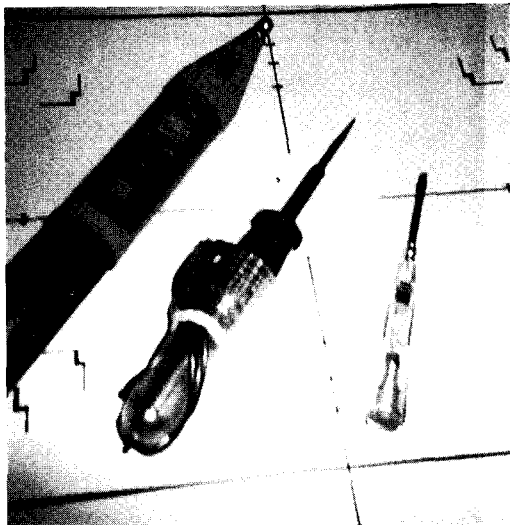


그림 4. 접촉식, 비접촉식 검전기

활선의 근처에 가면 소리를 내거나 불이 들어온다.

② 누전차단기

누전차단기란 전기기구에서 누전이 되는 경우에 전원을 빨리 차단하도록 되어 있는 장치

이다. 이동식 장치에 절대 필요하다. 확실한 접지를 하므로써 대신할 수 있다.

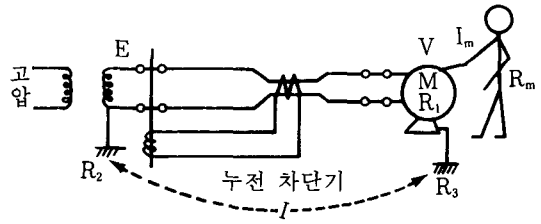


그림 5. 누전차단기

③ 접지

전기, 전자, 통신설비기기를 대지와 전기적으로 접속하는 일이며, 이를 접속하기 위한 터미널이 접지전극이다. 이 전극과 대지 사이의 전기적 저항, 즉 접지저항이 0이면 아무런 문제는 없으나 실제로는 그렇지 못하므로 접지설계가 필요하다. 접지전극의 재료는 지락전류에 견딜 수 있는 충분한 전류용량을 가질 것, 어떠한 토양 환경에서도 내부식성이 강할 것 등 구비조건을 갖추어야 한다.

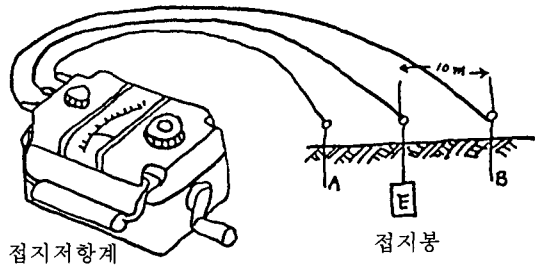


그림 6. 접지저항의 측정



그림 7. 접지봉

가정용 전자렌지에 사용되는 접지봉이다. 구리막대기 부분을 땅속에 묻고 전선을 전자렌지 바깥 금속부에 연결한다.

표 4. 접지공사의 종류

접지공사의 종류	접지저항치	접지선(동선)의 굵기
제 1 종 접 지 공 사	10 오옴 이하	직경 2.6 mm 이상
제 2 종 접 지 공 사	변압기의 고압측 또는 특별 고압측의 전로의 일선 지락 전류의 암페어수로 150을 나눈 값과 같은 오옴수 이하	직경 2.6 mm 이상 가공공동지선은 4 mm 이상
제 3 종 접 지 공 사	100오옴 이하	직경 1.6 mm 이상
특별 제 3 종 접 지 공 사	10오옴 이하	직경 1.6 mm 이상
[전기설비기술기준령] 제19조		동 제20조

V. 진단용 X선장치의 시험기준 및 시험 방법(보사부고시 제90-77) 중 전기안전과 관련된 항목(1990. 10. 30)

전기적안전과 관련된 방사선관련 고시로서 1990년에 발표된 진단용 X선장치의 시험기준 및 시험방법에는 다음과 같은 것이 포함되어 있다.

1) 접지공사

3종 접지공사에 의해 접지선이 확실하게 접지되어야 한다.

2) 접지설비

① 장치 단위기기의 접지는 적당한 길이와 충분한 기계적 강도를 가지고 그 전기저항을 무시할 수 있어야 한다.

② 접지단자는 전원단자 크기 이상, 접지선의 색은 녹색 또는 황녹색 절연피복전선 사용. X선 케이블 설드는 접지선으로 사용해서는 안 된다.

3) 외장누설전류

접촉가능 도전성부분으로부터 인체를 거쳐 또는 다른 접촉가능성 부분으로 흐르는 전류(외장 누설전류)는 확실하게 접지한 상태에서 0.1 mA 이하이어야 한다. 다만 거치형 장치 이

외의 장치의 경우는 접지선을 뗀 상태에서의 외장누설전류는 0.5 mA 이하이어야 한다.

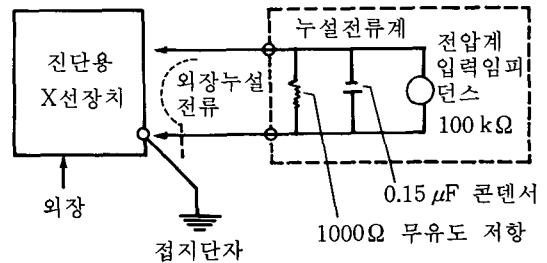


그림 8. 외장누설전류 측정방법

(1) 전기저항

접촉가능 도전성 부분과 각 장치의 접지단자 사이의 전기저항은 0.1 Ω 이하이며, 그 외에는 0.2 Ω 이하

(2) 절연저항

전원 일차회로와 접지단자 사이의 절연저항은 200 V 이하의 경우는 2 MΩ 이상 200 V 이상의 경우에는 4 MΩ 이상이어야 한다.

4) 접지선

(1) 보호접지선

전기적·기계적 강도가 있어야 하고 다른 회로로 사용 못함

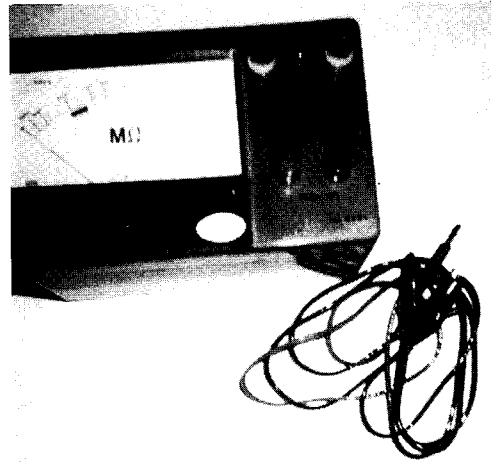
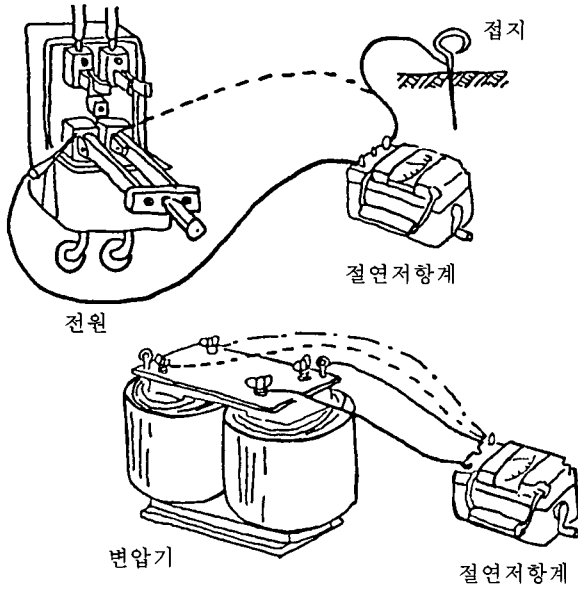


그림 9. 절연저항계와 절연저항 측정예

(2) 이동형 X선장치의 추가보호접지선

이동형 장치는 정규의 보호접지선과는 별도로 추가보호접지선을 갖추어야 한다. 이동형 장치의 전원코드는 보호접지선을 포함한 3심을 원칙으로 한다.

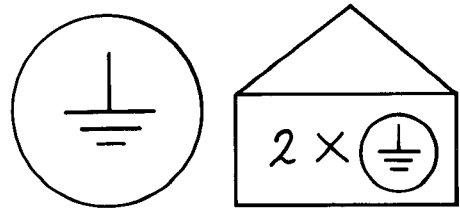


그림 11. 추가보호접지 표시

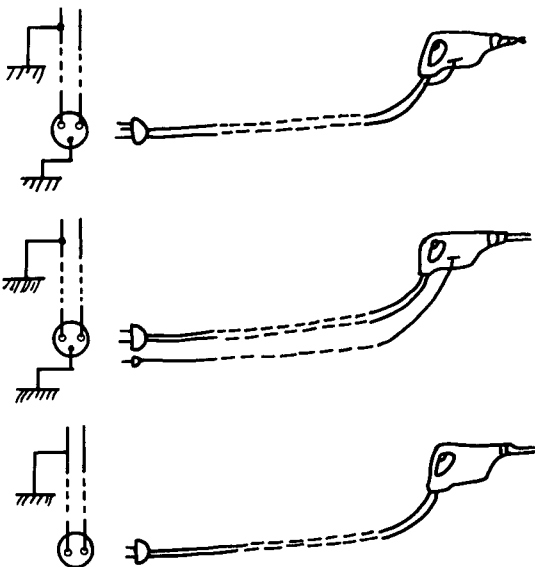


그림 10. 이동형 드릴의 접지 예

이동형기구(X선장치)나 가전제품 등의 접지방 법을 제시한다.

2) 단락과 아크

전선간에 절연이 파괴되어 직접 접촉하는 경우에는 저항이 극히 작아져 큰 전류가 한꺼번에 흐르고 폭발적으로 불꽃이 발생한다. 이것을 단락이라고 하며, 스파크 또는 아크가 발생한다고 한다.

화재의 위험이 있으므로 인화물질, 가스누출시 장치작동을 중단하거나 차단기를 작동한다.

● 휴즈용단 : 휴즈 검사법

저항계-저항 0이면 양호, 무한대이면 끊어진 상태

전압계-전압 0이면 양호, 전원전압이면 끊어진 상태

3) 가정, 병원의 전기 안전

- ① 고압과 저압의 혼용조심
- ② 누전차단기와 접지공사
- ③ 코드류 손상방지
- ④ 병원 등에서의 EPR시스템

감전재해방지를 직접적인 목적으로 하는 접지공사가 병원 등에서 시설되고 있다. 즉 EPR (Equipotential Patient Reference)라고 하는 것이다. 인체조직 이점간의 저항치의 최소를 500 Ω 이하로 하고 마이크로속의 허용전류치를 10 μA까지로 하면 인체에 가해지는 전압의 최대치는

$$V = 500 \Omega \times 10 \mu A = 5 \text{ mV}$$

수술실이나 진료실 등에서 사용하는 ME 기기나 전기기기, 간호사 호출, 전화 그 밖의 실내에 모든 금속체를 저항이 매우 적은 도선으로 EPR포인트라고 하는 한 곳에 연결하고 이 EPR 포인트와 각 기기나 도체와의 사이의 전위차를 5밀리볼트 이하로 하고 있다. 그리고 이 EPR포인트는 독립된 접지모선과 연결해둔다. 이것을 EPR시스템이라고 한다.

4) 정전과 비상전원

예고 없는 정전도 재해이다. 인명과 재산에 막대한 손해를 끼칠 수 있다. 병원 등에서는 정전이 되더라도 안전하게 정지하고 비상전원이 있어 환자진료에 지장을 주지 않아야 함은 물론이다.

방사선장치나 설비에 대한 정전대책으로는 진단용 X-선 장치의 시험기준 및 시험방법 8.6.9(보건복지부 고시 제90-77, 1990. 10. 30) 등이 있다.

정전시 브레이크작동 또는 브레이크작용의 해지에 의하여 피검자 또는 조작자에게 위험한 상태를 초래할 우려가 없는 구조이어야 한다. 또, 개폐스위치는 정전 후 재개되어도 위험한 상태를 발생하지 않는 회로에만 사용하고, 위험이 발생할 우려가 있는 회로에는 데드만형 또는 자기보존형 개폐회로를 사용하여야 한다.

- 데드만형 : 사람이 힘을 가하고 있는 동안에만 회로가 폐로 되게 놓으면 즉시 회로가 개방되는 형의 개폐기를 말한다. 자동현상기의 정전 방지대책이나 촬영 중 정전시의 행동요령을 숙지시킨다. 계획정전의 중요성을 알고 시행한다.

5) 낙뢰와 피뢰

예) K병원의 변전실에 낙뢰하여 배전반 버널선이 단락하여 병원이 정전되었다. 미숙아 3명을 넣은 보육기가 가동치 못한 사고가 있었다. 피뢰침과 접지저항을 연 1회 이상 점검한다.

6) 인간공학과 안전교육

재해원인의 80%는 인적결함과 물리적 결함의 복합에서 기인한다.

- ① 설비, 환경의 안전화
- ② 설비, 환경의 사용방법 숙지
- ③ 지도 및 교육방법을 안다.
OJT(on the job training)
OFFJT(off the job training)
- ④ 감독 및 지시방법을 안다.
- ⑤ 안전점검

점검기술의 확립이 필요하다.

일상점검 : 책임자 및 관리자

정기점검 : 검사자, 업자(메인テナンス 계약)

필요시 점검

참 고 문 헌

1. 이해광 : 진단용 X-선 장치의 전기적 안전, Test book on quality control for diagnostic radiology facilities, WHO/NIH National Training Course, 1~22, 1994.
2. 보건복지부 : 진단용 X-선 장치 시험기준 및 시험방법 보건복지부고시 제90-77호 (90. 10. 30).
3. 보건복지부 : 진단용 X-선 장치 시험기준 및 시험방법 보건복지부고시 제90-78호

- (90. 10. 30).
4. 대한방사선보건학회 : 방사선관련 의료용구
규격집, 1995.
 5. 김영일, 김정민 외 : 진료영상기기학, 263~
271, 신광출판사, 1994.
 6. 爪谷富三 : 알기 쉬운 ME, 기전연구소,
1992.
 7. 內藤勝次 : 電氣安全入門, 성안당, 1986.
 8. 大韓電氣協會 出版社 : 電氣火災와 防止對
策, 社團法人 大韓電氣協會, 1983.
 9. 李海龍 : 醫療用 X-線裝置, 대학서림,
1985.
 10. 高橋建彦 : 接地設計入門, 1993.
 11. 이화원 : 現場電氣技術百科, 성안당, 1985.
 12. 김갑송 : 기초전기공학, 성안당, 1985.
 13. 허 준, 김정민 : X-선 장치의 올바른 사용
방법, (주)동아엑스선기계, 1993.
 14. GB 기획센터 : 전자를 알고 싶다, 골든벨,
1994.