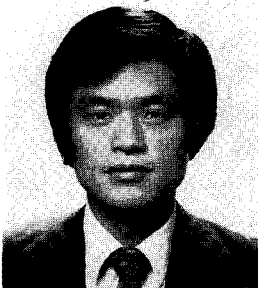


전리방사선

제2차 대전 이후에는 원자력의 개발로 원자로에서 방사성동위원소를 만들어내게 되었으며 이것이 급격하게 여러 산업분야에 진출하고 있다. 방사성 동위원소의 이용은 매우 광범하게 액면계, 적설계, 지하검층계, 정전기제거기, 특수방전관, 야광도료, 품질개선, 살균보전, 비파괴검사 등에 이용되고 있고 또 추적자로서 광공업, 농수산업, 의료에 사용된다.



金潤信

(한양대 의과대학 교수)

I. 서론

우리가 생활하는 환경에는 어디서나 반드시 방사선이 존재하고 있다. 따라서 방사선에 피폭 받지 않고 생활한다는 것은 불가능하다. 즉 인류는 창조 이래 방사선과 함께 생활해 왔다는 것이다. 지금으로부터 약 100년 전이라면 환경 중에 있는 방사선은 자연 방사선 밖에 존재하는 것이 없었지만, 최근에는 인공방사능 물질이 자연계에 첨가되어 왔다.

자연 방사선으로서는 지구 밖으로부터 오는 우주선과, 우주선에 의해 생성되는 방사선 물질, 지각이나 대기 중에 존재하는 천연 방사선 물질로부터 발생하는 방사선 등이 있다. 한편 인공 방사선으로는 핵실험에 의한 방사선 강하물, 원자력과 방사선 물질 등의 이용에 따른 인공 방사선 물질에 의한 방사선이 있다.

x 선, α 선, β 선, γ 선, 중성자, 우주선 등의 방사선은 물질을 통과할 때에 그 물질을 구성하는 원자로 부터 전자를 때어내며 전자를 잃은 원자는 높은 화학적 활성을 얻게 됨과 동시에 나아가서 전리된 전자가 계속하여 반응을 일으킨다. 그래서 이와 같은 방사선을 전리 방사선이라고 부르는데 본고에서는 전리방사선에 대한 이해에 도움을 주고자 전리 방사선의 성질, 생체 작용, 대책을 다루고자 한다.

II. 전리방사선의 종류, 성질 및 영향

1. 전리 방사선의 성질

가. 전리방사선의 종류

전리 방사선의 공통된 특성은 물질을 이온화하는 성질이며 여기에는 아래와 같은 것들이 있다.

① X선, γ 선 : X선은 전자를 가속하는 장치로부터 얻어지는 인공적인 전자파이고 γ 선은 원자핵 전환 또는 원자핵 붕괴에 따라 방출되는 자연발생적인 전자파이며 일반적으로 X선이 γ 선보다 파장이 길고 에너지가 적다. X선과 γ 선은 투과력이 매우 커서 인체를 통과할 수 있으며 외부조사가 문제가 된다. X선과 γ 선은 특히 산란선이 문제가 된다. 공업에 이용되는 γ 선의 예는 cobalt 60, cesium 137, iridium 192 등이며 X선은

전자관과 전자 현미경의 제작이나 사용시에 방출된다.

② α 입자 : 방사성 동위원소(radioisotope, RI)의 붕괴 과정 중에 원자핵에서 방출되는 α 입자(양자 2개와 중성자 2개가 결합한 helium)를 말한다. α 선은 투과력은 약하나 전리작용은 가장 강하다. 공기 중에서 수 cm, 신체 조직에서는 0.2cm 정도 밖에 투과력이 없다. 따라서 외부 조사로 건강상의 위해가 오는 일은 드물며 주로 동위원소를 흡입, 섭취할 때의 내부조사로 심한 폭로 효과가 일어난다.

③ 양자 : 양자선은 중성자가 원자핵에 충돌하였을 때 방출되며 고속으로 날으는 수소 원자핵이다. 조직 전리작용이 있으며 비정거리는 같은 에너지의 α 입자보다 길다.

④ β 입자 : 원자핵에서 방출되는 전자의 흐름이다. β 입자는 α 입자에 비해서 가벼우며 속도는 약 10배나 빠르므로 충돌할 때마다 튕겨져서 방향을 바꾼다. 따라서 그 비정은 zigzag형을 이루며 공기 중에서는 수 10cm-1m, 물과 피부에서는 1cm 이내를 투과한다. 외부 조사도 잠재적 위험이 되나 내부 조사가 더욱 큰 건강상의 문제를 일으킨다.

⑤ 중성자 : 원자핵이 분열할 때 방출되며 전하를 갖지 않으므로 물질을 직접 전리시키지는 않으나 다른 원자핵에 충돌되면 포획되어 γ 선을 방출하는 관계로 간접적인 전리작용을 지닌다. 중성자는 투과력이 강하다.

표 2. 전리방사선의 상대적 생물학적효과

방사선	본 태	주된 신원	대표적 에너지	투과력	상 대 적 생물학적 효과
α 선	고속도의 helium 핵	방사성 원자핵	수 MeV	매우 쉽게 흡수된다	10
β 선	고속도의 전자	방사성 원자핵	수 MeV ~ 수 KeV	쉽게 흡수된다	1
γ 선	전자파(광자)	방사성 원자핵	수 MeV ~ 수 KeV	비교적 투과력 있음.	1
X선	전자파(광자)	X선관	수 MeV ~ 수 KeV	비교적 투과력 있음.	1
중성자	중성 입자	핵 분열 및 핵 변환반응	수 MeV 또는 매우 적음.	일반적으로 매우 투과력이 강하다.	10

X선장치는 종래부터 질병(흉부, 소화기, 뼈)의 진단이나 치료, 또 공업의 비파괴 검사(주물이나 용접부분의 결함 검사)에 사용되어 왔다.

제2차 대전 이후에는 원자력의 개발로 원자로에서 방사성 동위원소를 만들어내게 되었으며 이것이 급격하게 여러 산업분야에 진출하고 있다. 방사성 동위원소의 이용은 매우 광범하게 액면계, 적설계, 지하검층계, 정전기제거기, 특수방전관, 야광도료, 품질개선, 살균보전, 비파괴검사 등에 이용되고 있고 또 추적자로서 광공업, 농수산업, 의료에 사용된다.

나. 전리방사선의 단위

전리방사선의 측정에는 survey미터가 사용되고 여기에는 방사선의 종류와 에너지 크기에 따라 전리함, GM관, scintillation식, 비례계수관 등 여러 형식의 기구가 있다.

① 룬트겐(Roentgen, R) : X선과 γ 선의 조사선량은 R로 표시한다. 1R는 공기 1cm³(0°C, 1기압)에 X선 또는 γ 선을 조사해서 발생한 ion에 의하여 1정전단위의 전기량이 운반되는 선량이다.

$$1R = 1 \text{cgsesu} / \text{cm}^3 = 87.7 \text{ erg} / \text{g} = 1.58 * 10^{-4} \text{ coulomb} / \text{kg}(\text{Air})$$

② 퀴리(Ci) : 방사선 물질은 방사능으로 평가한 방사성 물질의 양. 즉 Ci로 표시한다. 이것은 radium의 붕괴하는 원자의 수를 기초로 해서 정

표 1. 전자파방사선의 특성과 발생원

구 분	진동수(Hz)	파 장(m)	광자당에너지(eV)	발생부서
A. 전리방사선	>3.0×10 ¹⁵	<1.0×10 ⁻⁷	>1.2×10 ¹	전자관, 방사선촬영, 핵발전소, 방사선보존, 의학적응용, 우라늄 채광, 밀균 처치
X선				
γ 선				
β 선				
α 입자				
양 자				
중성자				

산업장에서 문제되는 전리 방사선의 본태, 주요 신원, 에너지, 투과력, 인체에 대한 영향의 정도를 표시하면 다음과 같다.

하여 졌으며 1 Ci란 1초간에 3.7×10^{10} 개의 원자 붕괴가 일어나는 방사성 물질의 양이다.

③ 렘(Rem) : Roentgen equivalent man의 머리글자를 딴 약자이다. 인체조직은 전리방사선으로부터 에너지를 흡수하여 영향을 받지만 그 영향의 정도는 같은 에너지라 하더라도 전리방사선의 종류마다 다르다. 따라서 조사 선량의 단위(R)나 흡수선량의 단위 rad(피조사체 1g에 대하여 100erg의 에너지가 흡수되는 경우임)와는 별도로 생체에 대한 영향의 정도에 기초를 둔 단위가 정해졌으며 이것을 생체 실효 선량이라 하고 rem으로 표시한다. 상대적 생물학적 효과비율(relativ radiological effectiveness)을 RBE라고 하면 다음의 관계가 성립한다.

$$\text{rem} = \text{rad} \times \text{RBE}$$

2. 전리 방사선의 영향

전리방사선은 생체에 대하여 전적으로 파괴적으로 작용하며 염색체, 세포 그리고 조직의 파괴와 사멸을 초래한다. 이것은 전리방사선의 물리적 에너지가 생체내에서 전리작용을 하기 때문이다.

전리방사선이 인체에 미치는 영향은 전리방사선의 투과력, 전리작용, 피폭방법, 피폭선량, 조직감수성 등에 따라 다르다.

투과력은 γ 선과 X선이 가장 크고 다음은 β 선과 α 선의 순서이다. α 선은 공기 중에서 수 cm, 생체조직에서 고작 0.2cm정도 밖에 투과하지 못한다. 또 β 선은 공기중에서 수 10cm-1m, 물과 피부에서는 1cm이내만 투과한다.

전리작용은 투과력과 반대로 γ 선과 X선이 가장 약하고 β 선과 α 선의 순으로 약해진다. 즉 α 선과 β 선에 의한 실제적 위험은 이들을 방사하는 방사성 물질이 피부에 부착하거나 흡수되거나 섭취될 경우에 가장 크다.

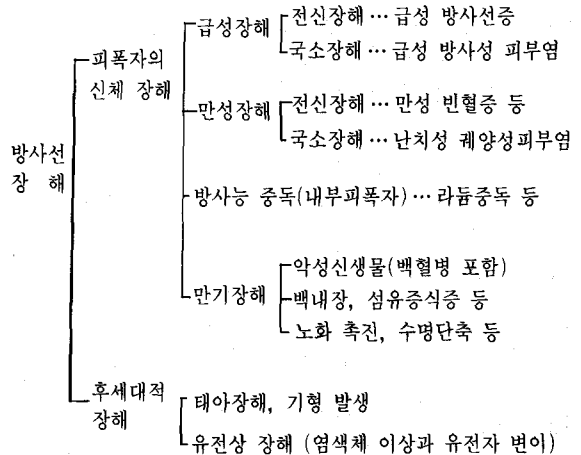
피폭방법에는 체외피폭, 표면오염, 체내피폭의 3종류가 있다. 전리방사선의 이용형식으로 보아 가장 흔한 피폭방법은 체외 피폭이며 X선 장치와 γ 선조사기 등을 사용할 때에 X선과 γ 선의 조사를 받는다. 표면오염은 방사성 물질이 피부에 부착된 경우이다. 체내 피폭은 방사성 물질의

가스나 분진 등을 흡입한 경우이며 이 경우에는 흡입된 방사성 물질인 핵종의 반감기가 문제가 된다. 또 반감기는 그 물질의 물리학적 반감기뿐 아니라 체외 배출 속도까지도 고려한 생물학적 반감기와 이 두 가지를 함께 고려한 실효반감기를 생각해야 한다.

방사성장해는 개체의 체세포에 나타나는 개체효과(somatic effect)와 생식세포에 나타나는 유전효과(genetic effect)로 나누어 생각할 수 있으며 개체효과는 장애의 정도에 따라서는 회복가능한 경우도 있으나 유전효과는 생식세포에 돌연변이가 생기는 것이니 만큼 회복 불가능하고 또 이를 예방할 수 있는 허용기준이라는 것도 있을 수 없다.

또 방사선 장애는 수 일 내지 수 년의 잠재기를 거쳐 나타나며 장애가 발현되는 시기에 따라 조기장해와 만기장해로 나누고 조기장해는 다시 급성장해와 만성장해로 구분한다.

방사선 장애를 받는 부위는 전리방사선의 종류와 체외와 체내조사의 차이에 따라 달라지며 이를 요약하면 아래와 같다.



① 급성방사선증(acute radiation syndrome, ARS) : 비교적 단기간내에 상당히 많은 방사선을 신체의 광범위한 부위에 받을 때 나타나는 증후군이다. 산업장에서 일어나는 일은 드물며 원폭장해 같은 것이 그 대표적인 예가 된다.

전리방사선은 생체에 대하여 전적으로 파괴적으로 작용하며 염색체, 세포 그리고 조직의 파괴와 사멸을 초래한다. 이것은 전리방사선의 물리적 에너지가 생체내에서 전리작용을 하기 때문이다.

전리방사선이 인체에 미치는 영향은 전리방사선의 투과력, 전리작용, 피폭방법, 피폭선량, 조직감수성 등에 따라 다르다.

뇌간 신경계 증후군 : 2,000rad 이상의 다량 피폭을 단시간내에 받으면 실신, 의식혼탁, 운동마비 등의 심한 중추신경계 증상이 나타나고 단시간내에 사망한다. 많은 동물 실험에서 보면 외관상으로 큰 변화는 나타나지 않으며 체온도 별로 상승하지 않는다.

장관계 증후군 : 피폭선량이 500-1,500 rad 이하일 경우에 일어난다. 장의 윤모상피를 중심으로한 상피 세포조직의 급속한 괴사로 인하여 심한 설사, 혈변, 탈수, 식욕부진 등을 보이며 곧 이어 구강과 장관으로부터의 내부 세균 감염 때문에 패혈증, 염증, 발열이 생기고 사망한다.

조혈, 혈관계 증후군 : 피폭선량이 300-400 rad 이하일 경우에는 장관계 증상은 한층 가벼운 대신에 조혈 조직의 광범위한 파괴로 인한 혈액병 증후군이 주로 나타난다. 오심, 구토는 50-100 rad 정도의 피폭으로도 일어나나 선량에 비례해서 가볍다. 이에 이어서 말초혈액 중에는 임파구, 백혈구, 적혈구의 순으로 혈구감소 경향이 나타나며 그 감소의 정도와 유형 및 회복 과정은 선량과 상당히 밀접한 관계가 있다.

② 방사선피부장해

직업성 방사선 장해 중에서 가장 흔한 장해이며 피부의 국소적 만성 염증에 이어 피부궤양, 암이 발생하는 것이다. 피부 조직 중에서 방사선에 가장 감수성이 높은 부분은 표피 기저부에 있는 세포층과 진피의 유두하에 모세관계제 부근이

다. 따라서 이 부분이 받는 흡수 선량에 따라 피부장해의 정도는 다르다. 일반적으로는 열화상, 화학화상과 유사한 염증과 궤양이 나타나지만 동통이 보다 심하고 자연 치유 경향이 현저히 적다. 이것은 주변 피부조직의 변질 내지 기능 퇴화와 영양에 관계되는 혈, 신경이 침습되기 때문이다.

③ 내부 피폭 장해

원자력 개발과 방사성 동위원소의 이용이 발전되어가는 가운데에 점차 중요성을 더하고 있는 것은 방사성 동위원소(핵 연료를 포함)의 체내 섭취에 따른 장해이다.

내부피폭장해 가운데서 역사적으로 유명한 것은 Ra(radium)장해이다. 제1차 세계대전중에 야광 도료가 발명됨에 따라 그 초기에는 소량의 Ra를 첨가한 황화아연의 혼합물을 시계의 글자판에 칠하는 일이 생겼는데 그 종사자의 사이에 육종이 발생하였다. 이들 여공은 붓끝을 다듬느라고 붓을 빠는 습관이 있었으며 이에 따라 Ra를 함유하는 도료가 구강을 통해서 체내에 섭취된다는 사실이 곧 밝혀졌다.

원자력산업 등에서 내부피폭장해를 일으킬 수 있는 위험핵종은 ^3H , ^{54}Mn , ^{60}Co , ^{65}Zn , ^{59}Fe , ^{85}Kr , ^{90}Sr , ^{90}Y , ^{95}Zr , ^{95}Nb , ^{106}Ru , ^{137}Cs , ^{144}Ce , ^{226}Ra , ^{222}Rn , Th, U, Pu 등이다.

④ 만기장해

원자력 산업의 발전에 따라 발생 가능성이 높아지고 있는 방사선 장해는 장기간의 전선량 피폭에 의한 만기 장해이다. 만기장해는 일시적인 대량 피폭 후에 급성증상이 일단 쇠퇴하였다가 오랜기간을 두고 그중 몇 사람에게에서만 돌연히 나타나는 경우도 있다.

만기장해는 백혈병, 각종 장기암(특히 폐암·갑상선암·담관암·피부암), 백내장, 수명단축, 조직의 노화현상 등이 있으며 특히 순환기계 조직의 경화와 탄력성 상실, 폐장 등의 섬유증식, 내분비기계 감퇴 등이 지적되고 있다.

⑤ 후세대에 주는 장해

태아의 기형발생과 방사선 피폭과의 관계는 동물 시험이나 인간에서 명백히 증명된 바 있다. 특히 태아는 시기(특히 신경계 발생 시기와 사지의 분리기 등)에 따라 상당히 낮은 선량에 피폭되

라도 큰 위험을 겪는다. 그러나 기형의 원인은 방사선 이외에도 여러가지가 있으므로 방사선에 의한 유전 장애를 개인의 피폭 장애로만 보기는 어렵다. 방사선의 유전적 영향은 돌연변이가 일어나기 쉽게 되고 염색체 이상의 형태로 나타나지만 그 출현 빈도는 선량을과는 관계가 없고 총선량과 관계가 있다.

Ⅲ. 전리방사선에 대한 대책

가. 허용기준

국제방사선방호위원회(International Commission on Radiological Protection, ICRP)가 1965년에 권고한 용인선량(acceptable dose)이 흔히 허용기준으로 채택되고 있으며 직업상으로 폭로되는 성인의 선량 한도는 다음과 같다.

표 3. 작업상 피폭자에 대한 선량한도

장기 또는 조직	평상시작업시의 피폭		계획특별피폭	
	1년기준	1/4년 기준	1회기준	일생기준
생식기, 적색골수 및 전신	5rem	3rem	10rem	25rem
균일 피폭				
피부, 갑상선, 뼈	30	15	60	150
손, 전완, 발, 발목	75	38	150	375
기타 장기 및 조직	15	8	30	70

* 눈의 수정체 : 연간 15rem(ICRP, 1969)

* 국내과기최고지도 ICRP 권고사항과 같음

나. 시설과 작업방법의 관리(X선 장치 및 방사선 동위원소 장비기 조작 작업)

차폐물의 설치 : 선원에서 방사선이 새어 나오지 않도록 선원과 작업자와의 사이에 차폐물을 설치한다. 차폐물은 전리방사선의 종류와 에너지 등을 고려해서 재료와 두께 등을 정한다. α 선, β 선에는 얇은 알루미늄판이나 철판 또는 두께 4mm 정도의 초자판이면 족하다. X선, γ 선에는 연판을 사용한다. γ 선은 X선보다 투과력이 크므로 철, 콘크리트벽을 두껍게 한다. 방사선이 흡수되는 정도는 원자 번호의 3승에 비례하고 또 두께와 밀도에도 비례하므로 연(원자번호 83)이 흔히 쓰이는 것이다. 또 위험한 장소에서 일할 때는 연 함유 고무로 된 방호의를 착용한다.

원격조작(remote control) 등 : X선, γ 선은 거리의 2승에 비례해서 약해지므로 방사원에서 가급

적 떨어져서 작업하여야 한다. α 선, β 선 방사선 물질에 의한 위험을 예방하기 위해서도 원격조작이 유리하다.

조사시간의 단축과 피폭선량의 측정 : 피폭시간을 단축시키는 의미에서 조사시간을 짧게 하여야 하며 film badge, 포켓선량계 등으로 피폭선량을 측정해서 개인이 허용선량을 초과하지 않도록 관리한다.

취급방법 : 피부의 노출을 피한다. 국소 배기장치가 가동되는 glove box 등을 이용한다. 상면이나 벽의 오염을 방지해야 하고 흡연, 식사 전에는 반드시 세수를 해야하며 작업 종료 후에는 표면오염의 유무를 확인하는 등 방사성물질이 체내에 들어가지 못하도록 만전을 기해야 한다.

다. 건강관리

직업적으로 방사선장해를 입을 위험이 있는 작업자에 대해서는 정기 건강진단을 실시 하고 특히 백혈구수 $4,000 / \text{mm}^3$ 이하를 요양이 필요한 사람으로 또 $4,100 - 5,000 \text{mm}^3$ 를 요주의자로 간주하는 등 지표를 설정해서 건강관리를 실시한다.

IV. 결론

산업 발달에 따른 방사선 이용이 늘어남에 따라 요즘 가장 큰 문제로 대두되고 있는 것이 원자력 이용에 의한 전리방사선 생성문제이다. 지속적인 경제성장 및 문화수준의 향상에 따라 전력에너지의 수요가 급증함으로써 전력에너지의 확보가 매우 심각한 문제가 되고 있는데 원자력 발전은 부존자원이 부족한 우리나라의 주 전력원으로서 앞으로도 그 수요가 계속 증대할 것으로 보아 방사선의 안전한 이용은 우리의 당면 과제라 할 수 있겠다.

방사선이용의 표준화는 우리나라에서도 ICRP 권고사항을 수용해 이용함에 따라 잘 정착되어 있고 크게 우려할 것이 못되지만 안전하게 관리하느냐 하는 문제는 국민 건강 및 환경보호 문제에 직결되기 때문에 안전한 이용이 되어야 하며 방사선을 올바르게 이해하고 대처하는 능력을 갖추는 것도 필요하다고 보겠다. 