

[지면보수교육]

방사선 노출과 건강

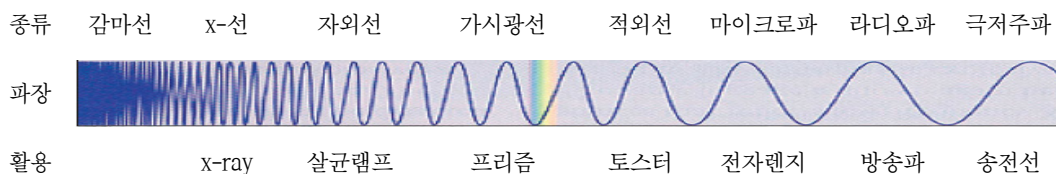


김용규 / 가톨릭대학교 예방의학교실 및 서울성모병원 직업환경의학센터

최근 일본지진의 여파로 원자력발전의 위험성과 방사선 노출에 대한 두려움이 커지고 있지만, 실제 방사선과 방사성 물질은 우리 환경의 일부이다. 환경에 존재하는 방사선은 우주방사선과 자연계 및 인체 내 존재하는 방사성물질로부터 유래한다. 이러한 방사선을 우리는 자연방사선(background radiation)이라고 부르며, 전체 피폭량의 약 82%를 차지한다. 이 외에도 방사선 장비, 의료행위나 방사성낙진 등과 같은 인간의 활동에 의해 발생하는 인공방사선으로 구분하게 되는데, 전체 피폭량의 약 18%를 차지하고 있다. 오늘날 방사선은 의학, 연구 및 다양한 산업분야에서 보편적으로 이용되고 있을 뿐만 아니라 중요한 가치가 있다. 의학 분야에서는 질병의 진단에 이용되며, 고용량의 방사선은 악성종양과 같은 질병의 치료에 이용되고 있다. 농업분야에서는 고용량의 방사선이 음식물에 존재하는 유해세균을 제거하여 신선도를 유지시키게 된다. 또한 최근 들어 더욱 논란이 되고 있는 핵발전소나 원자로의 이용으로 인한 전력생산에 이용되고 있다. 이 외에도 미량의 방사성물질이 화재연기검출기 등의 소비재와 다양한 용도의 연구 및 산업적 목적으로 이용된다.

방사선은 물질과 반응할 때 이온을 방출하는 전리방사선(알파선, 베타선, 감마선, x-선, 중성자 등)과 이온방출능력이 없는 비전리방사선(라디오파, 마이크로파, 적외선, 가시광선, 자외선 등)으로 구분하게 되는데(그림 1), 방사선에 의한 건강영향의 심각성은 전리방사선에 집중되어 있는 관계로 이 글에서는 전리방사선에 국한하여 건강영향 및 예방대책을 기술하고자 한다.

그림 1. 방사선의 스펙트럼



1. 전리방사선의 종류 및 단위

1) 종류

(1) X-선

X-선은 빛과 같은 전자파이다. 일반적인 전자파보다는 에너지가 훨씬 강하며 투과력도 강하다. X-선은 병원에서 진단이나 치료목적으로 이용된다.

(2) 감마선(γ)

감마선(γ)은 방사성원자가 붕괴할 때에 방출된다. 감마선은 X-선과 같이 투과력이 상당히 강하다. 우리 몸을 X-선 보다는 더 쉽게 통과할 수 있어서, 암 치료 등에 이용되고 있다.

(3) 알파선(α)

알파선(α)은 주로 자연적으로 존재하는 우라늄과 플루토늄과 같은 인공방사성 원소로부터 나온다. 알파선의 투과력은 아주 약하여, 종이 한 장으로도 차단할 수 있다.

(4) 베타선(β)

베타선(β)은 방사성원자의 원자핵으로부터 나오는 전자이다. 알파선보다는 크기가 작지만 에너지가 많아서 움직이는 속도가 매우 빠르며, 투과력이 알파선보다는 강하다. 1~2cm 두께의 물을 투과할 수 있어서, 우리 몸에서도 그만한 두께의 신체부위는 쉽게 통과할 수 있다. 그러나 얇은 알루미늄 종이로 차단할 수 있다.

(5) 중성자

중성자는 투과력이 상당히 강한 입자이다. 중성자는 멀리 우주의 외계로부터 날아오기도 하고, 공기 중에 있는 원자가 서로 부딪칠 때에 나오기도 한다. 또 원자로 안에서 우라늄 원자가 핵분열 할 때에 튀어나오기도 한다. 원자로 안에서 중성자 방사선을 차단키 위해서는 물이나 콘크리트벽이 이용된다. 중성자는 상대방 물질을 방사성물질로 만들 수가 있다.

2) 단위

(1) 조사선량(Exposure, X)

조사선량이란 공간상의 어떤 위치에서 방사선 강도의 세기를 나타내는 양으로, 단위는 뢰트겐(Roentgen, R)이다. 1 뢰트겐은 표준상태(STP)에서 1 cm³의 건조한 대기에서 이온화에 의해 1 전하량을 만들 X-선 또는 감마 방사선의 양이다. SI 단위는 킬로그램 당 쿨롱(C/kg)이다. 방사선원들의 출력을 표현하는데 사용되고 있다.

$$1R = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$$

(2) 흡수선량(Absorbed dose, D)

전리방사선이 지나가는 곳에 어떤 물체가 자리하면 방사선의 에너지 전부 또는 일부가 그 물체에 흡수된다. 물체나 조직의 단위질량(1kg)당 흡수된 방사선 에너지량(J)을 흡수선량이라 한다. 사용하는 단위는 그레이(Gray, Gy)이며, 1 그레이는 1kg의 물질에 흡수된 1J의 에너지와 일치한다.

$$1\text{Gy} = 1 \text{ J/kg}, 1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$$

(3) 등가선량(Equivalent dose, H)

방사선이 살아있는 조직과 상호 작용할 때의 영향은 방사선의 유형에 따라 다르다. 알파선은 조직 손상을 유발하는데 있어서 베타선과 감마선보다 20배 더 효력이 있다. 이것을 참작하기 위해서, 그레이(Gy)로 나타내는 선량에 방사선가중계수를 곱한 것으로, 이 단위를 시버트(Sievert, Sv)라고 한다. 선종별로 방사선가중계수는 X-선, 감마선, 베타선은 1이고, 알파선은 20이다.

$$H = D \times W_R$$

$$(H = \text{등가선량}, D = \text{흡수선량}, W_R = \text{방사선가중계수})$$

(4) 유효선량(Effective dose, E)

인체 내부에는 다양한 장기나 조직들이 있는데, 이들 각 조직이 같은 등가선량에 피폭되었다고 해서 같은 정도로 영향을 미치는 것은 아니다. 따라서 인체 조직별 상대적인 위험도의 차이인 조직가중계수를 반영한 것이 유효선량이다. 단위는 시버트(Sv)를 사용한다.

$$E = W_T \times H_T$$

(E = 전신 유효선량 , W_T = 조직가중계수 , H_T = 조직 T에서의 등가선량)

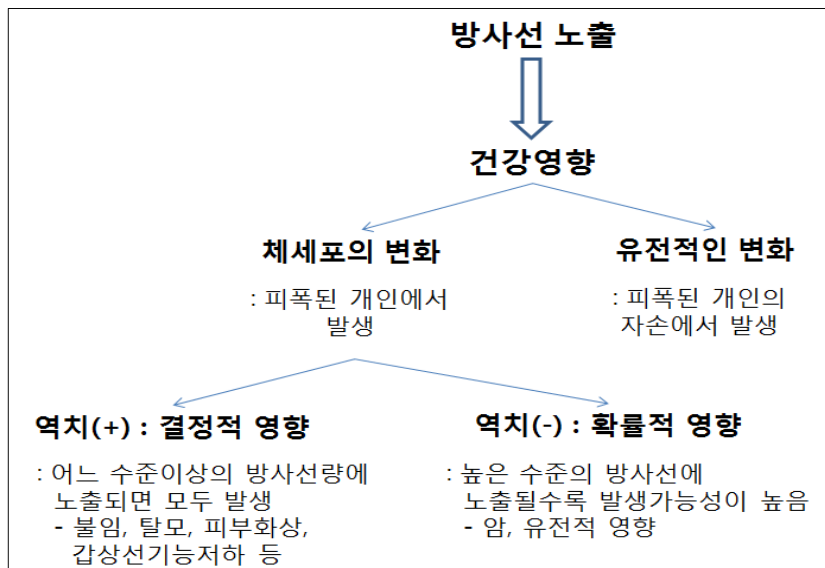
2. 전리방사선의 피폭 위험 직업

직업상 전리방사선에 피폭이 될 위험이 있는 직업은 방사선과 관련된 학문적 연구를 수행하는 학자, 방사선사, 우라늄광산 등에서 일하는 광업 종사자, 원자력 및 핵산업 종사자, 의료종사자와 항공승무원 등이 있다.

3. 전리방사선의 생물학적 영향

인체는 방사선이 투과할 때 에너지를 흡수하게 되는데, 이때 이온을 방출하는 전리현상이 몸 안에서 발생한다. 이 과정에서 DNA를 변화시켜 피폭된 세포(조직, 장기)에 일시적 또는 영구적인 변화를 일으킨다.

그림 19. 방사선 노출의 건강영향



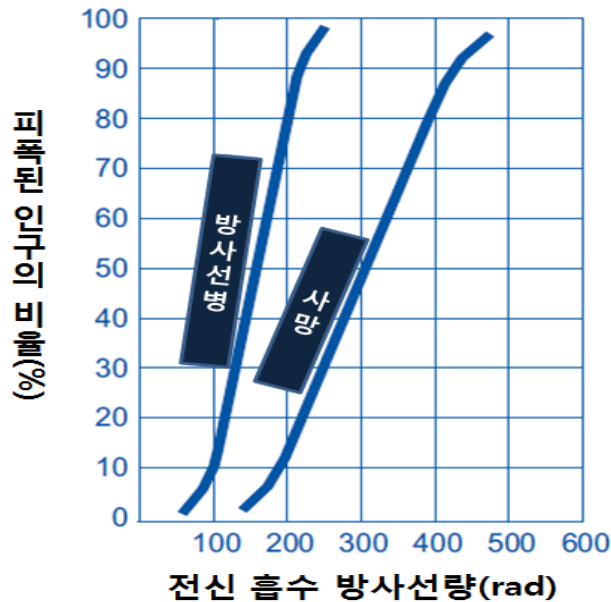
방사선에 의한 영향은 결정적(deterministic effect) 영향과 확률적 영향(stochastic effect)이 있다고 표현하는데, 영어를 번역하는 과정에서 직역을 하다 보니 어렵게 느껴지지만, 결정적 영향은 어느 피폭수준(threshold dose, 역치 또는 발단선량이라고 부름) 이상에서는 피폭인구 모두에게 반드시 건강상의 영향이 결정된다는 의미이고, 확률적 영향은 역치와 무관하게 암이 발생하거나 유전적인 영향이 확률적으로 나타날 수 있다는 의미이다(그림 2). 또한 잠재기간의 유무에 따라 급성(급성 방사선증후군)과 만성(암, 백혈병)으로 나뉘며, 전신에 짧은 기간 동안 1.5Gy이상의 높은 방사선에 피폭되면 급성방사선 증후군이라 하여, 수 시간 또는 수 주일이내에 사망할 수도 있다.

1) 결정적 영향(백내장, 탈모, 불임, 피부화상, 갑상선기능저하 등)

방사선 피폭으로 인해 세포가 죽게 되어 발생하는 건강영향으로, 일정 수준 이상의 피폭이 있어야 한다. 각 장기마다 나타나는 건강영향의 역치가 다르기는 하지만, 피부의 홍반 및 수포, 눈의 백내장, 불임 등이 대표적인 예로, 고용량의 방사선에 피폭되면 단기간 내에 그 영향이 발생하고 높은 선량의 방사선에 노출될수록 나타나는 영향의 심각성(중증도)이 증대된다.

(1) 방사선 병(radiation sickness)

그림 20. 전신흡수방사선량에 따른 급성영향



약 60 rem에서는 피폭된 개인의 5%에서 구토가 발생한다. 200 rem에서는 50%에서 발생하고, 300-400 rem에서는 특별한 치료가 없이는 60일 이내에 50%가 사망할 가능성이 있다(그림 3).

(2) 백내장

200-500 rem에 일회성 피폭으로도 백내장이 발생한다. 수개월에 걸쳐서 총 1000 rem의 방사선에 피폭되어도 백내장이 발생한다.

(3) 불임

남성에서 15 rem에 일회성 피폭은 일시적인 불임을 유발하고, 400-500 rem에 일회성 피폭은 영구적인 불임을 유발한다. 여성에서는 2-3회에 걸쳐서 총 400 rem에 노출되면 영구적인 불임이 발생한다.

(4)태아의 영향

피폭용량이 높은 상태에서 많은 역치효과가 발생하는데, 태아의 임신 주수에 따라 나타나는 영향이 다르다. 임신 2주에는 태아사망이 발생하고, 10 rem의 방사선 피폭으로도 태아사망 위험을 0.1-1%까지 증가시킨다. 임신 3-7주에는 백내장, 기형, 정신 및 신체발달 지연을 유발될 수 있다. 이러한 영향은 10 rem 이하에서는 관찰되지 않는다. 임신 8-15주에는 총 20 rem 이상의 피폭선량에서 정신발달지연이 나타난다.

2) 확률적 영향(암, 유전적 손상)

방사선 피폭으로 인해 손상된 세포가 죽지않고 돌연변이를 일으킬 수도 있는데, 이러한 돌연변이 세포가 지속적으로 증식하면 조직이나 장기의 기능이상을 초래하기도 하고, 암세포로 발전하기도 하며, 생식세포의 돌연변이를 유발하기도 한다. 이러한 영향은 우연에 의한 것으로 확률의 법칙을 따르며, 결정적 영향과는 다르게 고선량에서 심각성이나 중증도가 증가하는 것은 아니라 지연효과의 가능성이 높아지는 것이다. 아래 표 1은 방사선 노출에 의한 신체부위별 종양 발생의 감수성을 구분한 것으로, 골수(백혈병) 및 갑상선 등이 방사선에 의한 암 발생의 가능성이 높다.

표 1. 방사선에 의한 종양 발생의 감수성

높음	중간	낮음
골수(백혈병 등)	위	뇌
유방(폐경 전)	난소	골격
갑상선(소아)	대장	자궁
폐	방광	신장
	피부	식도
		간

4. 전리방사선 예방대책

1) 방사선 사고

방사선 사고란 방사선 또는 방사성물질에 의도하지 않은 상태에서 피폭된 경우나 의심이 되는 경우 모두를 일컫는다. 최근 일본지진에 의한 원전사고의 경우도 방사선 사고의 예로써, 방사선 사고의 유형은 핵무기 사고, 원자력발전소 사고, 산업체 사고, 운송 중 사고로 구분할 수 있다. 대부분의 사고는 산업체 사고이며, 비록 피폭량이 높더라도 주로 작업자에 국한되지만 체르노빌이나 일본의 경우처럼 지역주민에게까지 그 영향을 주기도 한다. 방사선에 의한 신체적 손상 외에도 오염제거 작업자 및 고준위 오염지역 주민들에게서 발생하는 심리적인 장애까지도 방사선 사고의 피해로 대책을 세워야 한다. 병원의 방사선 치료 장치나 비파괴 검사 장치로 이용되는 방사성물질의 경우도 실수나 취급부주의로 인해 사고가 발생하기도 한다.

2) 방사선 방호 및 교육

방사선 피폭은 모든 방법을 동원하여 불필요한 방사선 피폭을 최소화해야 한다. 각종 보호장비와 적절한 차단방법 등을 이용할 수 있어야 하고, 직업적으로 노출된다고 하더라도 그 수준을 가능한 도달할 수 있는 최소량으로 제한해야 한다. 이는 피폭자에게 발생할 수 있는 조혈기능억제, 불임, 백내장 등과 같은 장기기능의 손상을 막기에 충분한 정도이어야 한다.

전리방사선이나 방사성물질에 피폭되어 있거나 잠재적으로 피폭되는 모든 작업자들에게는 안전교육이 제공되어야 하고, 이러한 교육은 채용시부터 시작하여 정기적으로 재교육을 반복하고, 특히 가입기 여성의 경우에는 임신 시 특별한 주의를 기울여야 한다.

3) 방사선 안전관리

전리방사선에 직업적으로 피폭되는 사람들은 인체피폭정도를 필름배지, 선량계 등을 이용하여 지속적으로 감시해야 한다. 방사선으로부터 보호의 일차적인 목적은 피폭을 실제로 가능한 가장 낮은 수준으로 감소시켜서 위험도를 최소화하는 것이다. 방사선 피폭은 외부방사선(인체의 외부에 존재하는 방사선원)이나 내부방사선(체내에 축적되어 있는 방사선원)으로 인해 가능하고 생물학적 효과가 비슷하게 나타나지만, 방어를 위한 방법은 다르기 때문에 그 방법을 알아둘 필요가 있다.

(1) 외부방사선 관리

외부방사선 관리의 4대 원칙은 피폭시간, 거리, 차폐 외에 붕괴의 원칙이 있다. 즉 방사선이 방출되는 방사선원 근처에 있는 시간을 최소한으로 줄이고, 방사선원까지의 거리를 최대한으로 하며,

방사선원과 자신의 사이에 차폐물질을 두어 인체 피폭을 막고, 방사선원에 접근하기 전에 그것이 붕괴되도록 하는 것이다.

(2) 내부방사선 관리

내부에 축적되어 있는 방사선원들은 계속해서 방사선을 방출하고, 쉽게 제거하기가 어려우며, 특정한 장기들에 흡수될 수 있기 때문에 외부 방사선보다 더욱 심각한 문제가 야기될 수 있다. 따라서 방사성물질들이 체내에 들어오는 것을 사전에 방지하는 것이 무엇보다 중요하다. 흡입에 의한 피폭은 적절한 호흡보호구를 착용함으로써 최소화할 수 있고, 섭취에 의한 가능성을 최소화하기 위해서는 방사선 노출이 의심되는 구역 내에서의 흡연 및 음식섭취 등을 금지해야 한다. 이 외에도 피부 흡수를 방지하기 위한 고무장갑, 플라스틱계열의 피복 등과 같은 개인 보호장비를 사용하고, 피부 질환이나 상처가 있는 경우에는 피폭가능성이 있는 작업에 대해 일시적으로 중지시킬 수도 있다.

4) 방사선 오염 시 대처방법

사고 등으로 인해 방사성물질 오염이 발생한 경우 피부, 경구 및 호흡을 통해서 체내에 축적이 발생할 수 있다. 피부오염은 비누나 물 등을 이용하여 세척해야 하지만, 피부의 상처가 있으면 방사성물질의 체내 흡수가 용이해지기 때문에 주의가 필요하다. 흡입을 한 경우에는 코, 구강, 인두부위에 대한 세척을 해야 하며 유해성이 높은 방사성물질의 경우에는 전신마취 하 기관지 세척을 시행하기도 한다. 경구로 들어간 경우에는 즉시 구토 또는 위세척을 실시하여 점막에 대한 접촉 시간과 흡수를 최소화해야 한다. 상처가 오염된 경우 씻어내고 주위 피부의 오염을 제거하며 필요하다면 피사된 조직을 제거해야한다.

참고문헌

1. 대한예방의학회. 전리방사선. 예방의학과 공중보건학. 계축문화사 2010. p.608-19.
2. 김수근, 김규상, 김은아, 고동희. 유해인자에 의한 건강영향과 관리 -전리방사선-. 산업안전보건연구원 2006.
3. 안연순. 직업성 암. 직업병학. 계축문화사 2007. p.367-8.
4. Claycamp HG, Wald NI. Radiation. In: Rosenstock LI, Cullen MR, Brodtkin CA, Redlich CA, editors. Textbook of Clinical Occupational and Environmental Medicine. 2nd ed. Elsevier Saunders; 2005. p.855-69.

5. Cohen RI, Horie SE. Injuries caused by physical hazards. In: Ladou JO, editor. Current Occupational & Environmental Medicine. 4th ed. McGraw-Hill; 2007. p.140-4.
6. State of New York Department of Health. Radiation and health. NYSDH Center for Environmental Health Bureau of Environmental Radiation Protection, 2007. p1-20.