

# 放射線의 影響

鄭 俊 基

〈서울大學校 醫科大學 助教授〉

1985년에 독일의 뢰트겐(Roentgen)에 의해 발견된 X-선은 의학발전에 많은 공헌을 하였다. X-선이 발견된 수개월후 프랑스의 벡크렐(Becquerel)은 우라늄이 사진건판을 감광시키는 것을 알아내었고, 1898년 프랑스의 큐리부부는 포로늄(Po)과 라듐(Ra)에서 방사능이 나오는 것을 발견하였다.

우라늄이나 라듐과 같은 물질이 방사선(radiation)을 방출하는 성질을 방사선(radioactive)이라 하고, 이와 같은 물질(방사성물질)에서 방출되는 방사선은 알파입자( $\alpha$  particle), 베타입자( $\beta$  particle) 및 감마선( $\gamma$  ray) 등이 있다.

이들 방사선의 이용이 많아짐에 따라 방사선이 인체에 미치는 영향이 생물학적 장애를 일으킨다는 사실이 확인되었다. 本稿에서는 이러한 방사선의 종류와 단위 및 방사성 장애에 대하여 알아보겠다.

## 1. 放射線의 성질

방사성물질은  $\alpha$  입자,  $\beta$  입자,  $\gamma$  선 및 저에

너지 X선을 방출한다. 중성자는 원자핵반응으로 방출된다. 또 입자가속장치는 양자속, 전자속(성질은  $\alpha$ -와 동일) 등도 방출한다.

### (1) $\alpha$ 입자

$\alpha$ 입자는 정전하 2개를 갖는 고속도의 헬륨원자핵으로 물질을 잘 투과하지못한다.  $\alpha$ 입자는 2,3매의 종이나 피부표면에서 완전히 흡수되고, 신체 외부에 존재하고 있는 한 큰 위험은 없다. 그러나 Ra나 Pu과 같이 뼈 등의 중요기관에 부착되기 쉬운  $\alpha$ 방출체는 신체내에 섭취되면 큰 장애를 일으킬 경우가 많다.

### (2) $\beta$ 입자(전자속)

$\beta$ 입자 또는 전자속은  $\alpha$ 입자 보다 100배나 큰 투과력을 갖고 있기 때문에 신체조직의 수 mm 까지 투과할 수 있다. 일반적으로  $\beta$ 입자는 직접 물질을 전리하고, 또 여기하여 에너지를 잃지만 그 전리작용은  $\alpha$ 입자 보다 강하다.

### (3) 양전자속

양전자( $\beta^+$ )는 +의 전하를 갖고 있다는 것

외에는 물리적으로 전자와 동일하다. 양전자는 전자와 결합하여 소멸하고, 0.5MeV의 소멸  $\gamma$ -선을 2개 방출한다.방사선장애방어성이 이 소멸  $\gamma$ -선에 대해 주의하지 않으면 안된다.

#### (4) $\gamma$ -선

$\gamma$ 선은 원자핵 내부에서 방출되는 파장이 아주 짧은 전자파이고, 고에너지 X-선과 비슷하다. 전리작용은 작지만 투과력이 강하고 신체 깊은 곳까지 도달한다.

#### (5) 중성자속

중성자는 질량이 양자의 질량과 거의 비슷하고, 전하는 갖고 있지 않다. 따라서 물질을 직접 전리시키지는 않지만 원자핵을 튕긴다던가 원자핵과 반응하여 하전입자를 생성하고 간접적인 전리작용을 일으킨다. 중성자속은 전하를 갖지 않기 때문에  $\gamma$ -선과 같이 투과력이 강해 피부나 조직중으로 투과된다.

## 2. 放射性物質의 단위

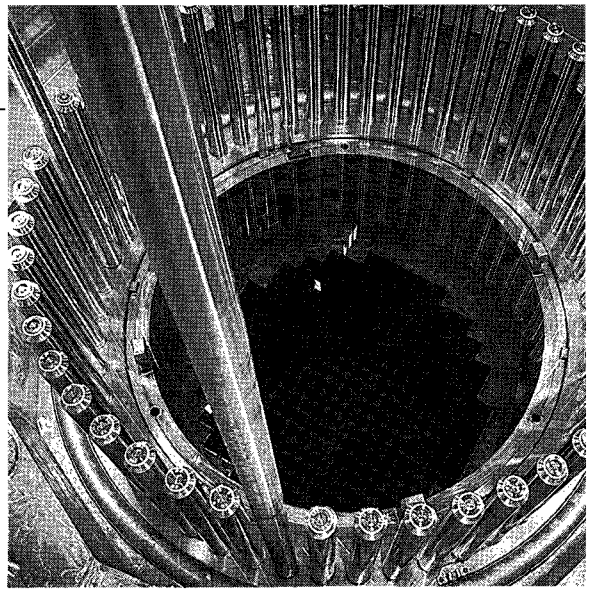
### (1) 조사선량

조사선량(exposure)은 공기를 얼마만큼 전리시키는가를 나타내는 단위이고, R(Roentgen)으로 표시한다. 1R은 표준상태의 공기 1cc(0.001293g)에 X-선 또는  $\gamma$ -선이 조사되어 공기를 전리(+ 또는 -)시키는 전하가  $1.6 \times 10^{-19}$ 인 방사선량으로 정의되고, 또 다음과 같이도 표시된다.

$1R = 2.58 \times 10^{-4} C / Kg$  (공기). 여기서 C는 Coulomb이다.

### (2) 흡수선량

흡수선량(absorbed dose)은 어떤 물질의 단위 질량당 흡수되는 에너지량이고, 방사선의 성질과 그것을 흡수하는 물질의 성질에 따라 규정된



다. 단위로는 “rad”가 사용된다. 요즘은 SI단위 Gy(gray)로 표시하기도 한다.

$$1 \text{ rad} = 0.01 \text{ J / Kg} \quad (\text{J : joule}) = 100 \text{ erg / g}$$

### (3) 선량당량

선량당량(dose equivalent, DE)는 종류나 에너지가 다른 방사선피폭에 대해서 그것이 인체에 미치는 정도를 방사선 방출 목적상 동일한 단위로 표시하여 비교하고 관리하기 위해 사용된다. 선량당량의 단위는 “rem”이다.

### (4) 방사성동위원소의 양

방사성동위원소의 양을 표시하는 단위로는 Ci(Curie)가 사용되며, 1 Ci는 1초간에 핵붕괴수가  $3.7 \times 10^{10}$ 개와 같은 방사성핵종의 양이다. 새로운 SI 단위로는 Bq(becquerel)이 사용된다.

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ dps}$$

여기서 dps(disintegration per second)는 매초당 붕괴수이다.

## 3. 放射線 장애

급성장애는 보통 수시간 이내에 나타나고, 만성장애는 수십년간의 잠복기를 지난 후에 나타나는 경우도 있다. 방사선 장애는 그것이 피폭된 개인에게 나타나면 신체적 장애라고

부르고, 또 그것이 자손들에게 나타나면 유전적 장애라고 부른다.

전신에 수백rad 정도의 많은 선량을 1회에 쪼이면 급성인 방사선증상이 일어난다. 이 경우에 보통 조혈조직의 손상으로 사망한다. 좀더 높은 선량에서는 위장조직의 손상으로 사망하게 된다. 또 수천rad의 높은 선량에서는 곧 사망한다. 신체의 일부가 수백rad의 선량을 받으면 국부적 장애가 발생한다.

지발성 장애는 백혈병이나 기타 악성 종양, 백내장, 피부의 손상, 불임, 노화 등이다. 개개의 경우는 그들 장애와 원인이 되는 피폭을 관계 짓기가 매우 어렵다. 백혈병은 조사를 받은 개인중 몇 사람에게만 일어나지만 노화는 조사를 받은 모든 사람들에게 조금씩 영향을 주는 것이라고 추측된다.

아직까지 이러한 유발현상은 100 rad 이상의 피폭에서 명확히 밝혀져 있지만, 그 이하에서는 악성 종양과의 연관관계는 불분명하다.

#### 4. 許容度の 概念

ICRP 권고에는 방사선에 피폭되면 소량일지라도 백혈병이나 악성 종양 또는 유전적 경향이 생기고, 그 위험성은 개인이 축적한 피폭선량에 비례하여 증가한다는 가정이 있다.

우리가 방사선작업을 해야 한다고 하면 어느 정도의 위험성이 있다는 것을 인정하고, 그 가정된 위험성이 개인 또는 사회에 대한 방사선작업으로 얻는 이익을 고려할때 허용가능하다고 생각되는 단위까지 선량을 制量할 필요가 있다. 이 선량을 “허용선량”이라고 한다.

이상적으로는 피폭에 의한 위험성과 그 작업 이익과의 균형을 고려해서 판단해야한다.

제량 가능한 선원 밑에서 작업하는 직업인에 대해서는 “최대허용선량”(Maximum Permissible Dose, MPD)”라는 용어를 사용한다.

〈표〉 개인에 대한 허용피폭선량

구 분	방사선작업종사자		수시출입시 연간허용 피폭선량 (rem)
	3개월에 대한 최대 허용피폭 선량(rem)	연간제 한선량 (rem)	
전신, 조혈장기, 생 식선, 눈의 수정체	3	5	1.5
뼈, 갑상선, 피부	15	30	3
손, 발, 다리, 관절	40	75	7.5
기타 단일장기	8	15	1.5

방사선작업종사자의 전신, 조혈장기, 생식선 및 눈의 수정체에 대한 최대허용직접선량(Maximum Permissible Accumulated Dose, MPAD)은 다음의 기본식에 의하여 산출되는 선량으로 한다.

$$D=5(N-18) \text{ rem}$$

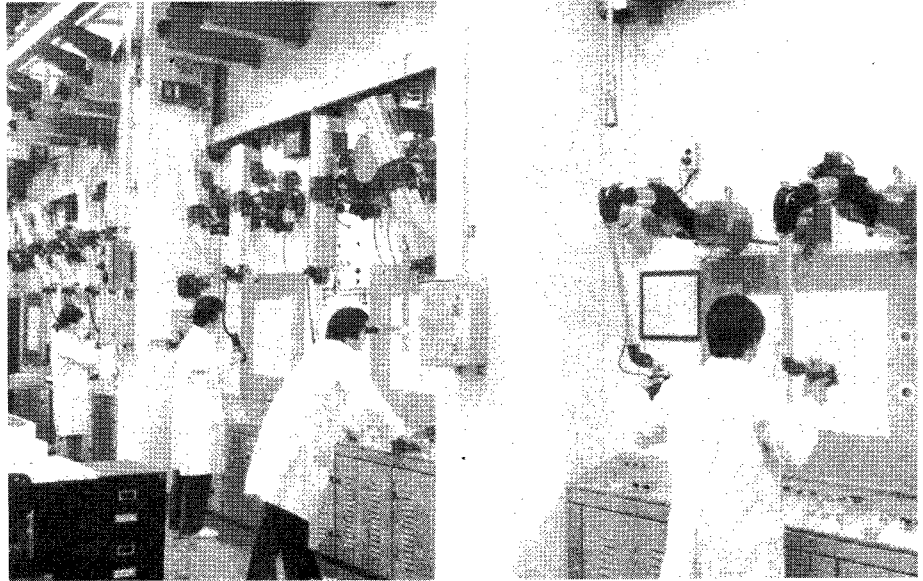
이 식에서 D는 최대허용직접선량이고, N은 년단위 연령이다. ICRP은 일반인에 대한 피폭 제한선량으로 방사선작업종사자에 대한 연간 제한선량의 1/10을 권고하고 있다. 참고로 병원에서 흔히 촬영하는 흉부 X선 검사는 30~80mrem이고, 치과 X선 검사는 350mrem 정도가 된다.

#### 5. 放射能의 환경오염

##### (1) 자연방사능

자연방사능피폭은 인간이 사는 세상에서 피할 수 없는 것이다. 피폭의 원인이 되는 것으로 세가지 선원이 있는데, 즉 우주선(cosmic ray), 지구방사능(terrestrial radiation) 및 내부방사능(internal emitter)이다. 지역에 따라 다르나 약 연간 100mrem 내외가 된다.

① 우주선(Cosmic radiation): 태양 및 별 등 외계의 고에너지입자(우주선)와 대기의 중성자, 감마선 및 고에너지전자 등의 2차적인 입자들이 지구상으로 들어온다. 바다 높이에서는 대개 감마선이나 전자들의 저에너지방사선으로 연평균 방사선량은 약 30mrem이고, 고도가



높을 수록 대기에 의한 차단률이 낮아짐에 따라 선량은 증가한다. 대륙간 비행기 여행시는 조사량이 높고, 특히 여객기 승무원들은 매년 수백 mrem으로서 방사선종사자의 방사선량 보다 높다.

② 지구방사능(Terrestrial radiation) : 이는 토양이나 암석에서 기인되는 자연방사능으로 주로 우라늄 238이나 토륨 232 및 그 붕괴산물, 그리고 포테슘 40에 의한다. 지구자연방사능은 지역 마다 차이가 있는 바, 고인산농도 암반이 많은 미국 Florida주와 화강암이 많은 영국에서는 연평균 선량이 150mrem에 이른다.

③ 내부방사능(Internal emitters) : 주로 포테슘 40과 탄소 14이다. 포테슘 40은 반감기가  $1.26 \times 10^{10}$ 년으로 자연계에 존재하는 포테슘의 0.01%를 차지하며, 탄소14는 반감기가 5,730년으로 평균 신체내 농도는 0.1mCi이다.

자연계 우라늄의 붕괴산물인 라돈 222 방사성기체가 폐로 흡입하여 내부방사능을 만드는데 평균 라돈의 농도는 약  $100 \text{ pCi/m}^3$ 이며, 바다가 대륙 보다 1/10 정도로 적다. 자연에 존재하는 라듐 222 및 그 붕괴산물의 연간 평균

폐에 대한 선량은 0.7rem이며 우라늄의 농도에 따라 다르다. 콘크리트, 벽화료에서도 라듐 222 방사능이 나오는데, 목재건물에서는 적다.

## (2) 인공방사능

인공방사능의 환경오염의 원인을 선원 별로 대별하면 다음 네가지를 들 수 있다.

- (1) 핵연료 생성
- (2) 선박, 로켓 및 우주선에서 이용되는 핵에너지
- (3) 산업, 농업, 의학 및 과학연구에 이용되는 방사성동위원소
- (4) 핵무기 실험

이들에 의한 환경오염은 주로 사고로 누출된 방사성기체 및 방사능낙진으로 기인하며, 대개는 전체 인구 보다는 종사자나 사고 인근지역 거주인의 건강에 해를 끼치게 된다.

원자력발전소 : 원자력발전소의 개발은 전기 발전량을 증가시키는데 중요한 역할을 한다. 특히, 최근 들어 원자력발전소 시설의 규모 및 수가 급증하고 있는 바, 즉 1954년 소련에서 최초로 Obninsk에 설치운용된 후 1986년 현재

전세계에 375기의 원자력발전소가 운용되고 있고, 157기가 주문발주 또는 건설중에 있어 세계 총전기량의 15%를 차지하고 있다.

원자로 가동시에 방사성폐기물이 배출되는데 이것이 환경의 중요한 오염원이 된다. 폐기물은 핵분열된 부산물로서 정상적으로는 연료인 우라늄에 존재하게 된다. 방사성폐기물은 또한 부산물에 의하여 냉각수내에서도 생성된다. 이 과정에서 여러가지 방사성기체도 발생하는 바, 특히 Iodine 131, Xenon 133과 135, Krypton 85, Uranium 238, Thorium 239, Plutonium 239, Strontium 90, Cesium 144, Barium 140 및 Zirconium 95 등이다.

원자로를 냉각공기를 이용하여 정상적으로 가동할 때에도 냉각공기내 Argon 41이 대기에 배출된다. 그러나 일반적으로 공기오염은 공기 및 냉각수로 원자로에서는 매우 적으며, 정상적인 작동을 한다면 건강에 미치는 영향은 무시할 정도이다.

### (3) 방사능이 건강에 미치는 상대적 위험도의 비교

소량 방사능피폭에 의한 영향, 즉 암유발과 유전적 결손 등을 자연발생하는 것과 구별하기는 불가능하다. BEIR III(Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation)에서 위험상수와 Linnear dose-response model에 의하여 조사한 결과 소량 방사능에 의한 위험도와 기타 자연발생하는 것과 방사선 1 rad의 조사량에 의한 것이 각각 160,000명과 100~200명이고, 인구 100만명당 유전적 결함은 각각 107,000명과 5~75명이었다. 또한 임신시 여러 백그라운드 방사능 양에 따른 태아의 피폭시 야기되는 기형 및 소아 암 발생률에서도 빈도의 차이는 없어서 백그라운드 방사능에 의한 영향은 비교적 적은 것으로 생각된다.

가끔 일상 중에 발생하는 사망률의 빈도와

방사능피폭에 의한 사망률에 미치는 영향을 비교평가하는 것이 이해하기 용이할 때가 있다. 다음에 열거하는 경우 MIT에서 보고한 것으로, 살면서  $1 \times 10^{-6}$  (0.000001)의 동일한 확률로 사망할 수 있는 위험도를 일으키는 경우이다.

- 제트여객기 1,000마일 비행(우주선에 의한 암)
- 미국 Denver에서 2개월 거주(우주선에 의한 암)
- 흉부 X선 촬영(방사선에 의한 암)
- 원자력발전소 주변에 5년 거주(방사선에 의한 암)
- 원자력발전소 20마일 지역에 150년 거주(방사선에 의한 암)
- 원자력발전소 5마일 지역에 50년 거주(방사선에 의한 암)
- 담배 1.5개피 껍연(암, 심장병)
- 포도주 1/2 l 음주(간경화)
- 탄광에서 1시간 작업(폐질환)
- 탄광에서 3시간 작업(사고)
- 대도시에서 2일 거주(대기오염)
- 커누로 6분 승선(사고)
- 자전거로 10마일 여행(사고)
- 자동차로 30마일 여행(사고)
- 껍연자와 2개월 동거(암, 심장병)
- 피너츠 버터 40차수저 섭취(aflatoxin B에 의한 간암)
- 마이애미에서 1년간 식수마심(chloroform에 의한 암)
- 소다수 12온스짜리 30캔 마심(사카린에 의한 암)
- 플라스틱병에 있는 24온스짜리 1,000개 청량음료 마심(acrylonitrile monomer에 의한 암)
- PVC 공장 근처에 20년 거주(vinyl chloride에 의한 암)