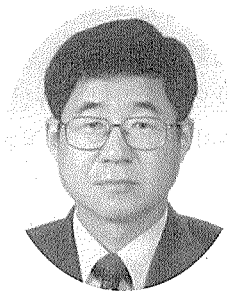


방사선생물학

— 방사능(선)의 올바른 이해를 위한
생물학적 정보를 중심으로 —

우선, 방사선 생물학을 이해하기 위해서는 방사선 물리학, 방사선 화학, 방사선 유전학에 대한 최소한의 지식의 뒷받침이 되어야 하나, 전문성이 높아서 용어적 해석만을 위해서도 어려움이 많을 것으로 생각이 된다. 특히, 방사선 생물학분야에서 세포와 염색체도 중요한 인체장해 평가자료를 제공하기 때문에 방사선에 의한 급·만성 영향을 이해하기 위해서 각 분야가 상호 보완되면서 설명 되어야 한다. 그러나, 앞서 언급한 분야에 대한 정보는 전자들의 투고에 의해서 부분적으로 설명되어 왔기 때문에, 본 투고에서는 내부 및 외부피폭에 맞추어 방사능(선)과 인체와의 관계를 이해하는데 필요하다고 생각하는 방사선 생물학에 대한 용어적 설명에 중점을 두고 작성하였다.



김 종 순
방사선보건연구원장

1. 우리 생활속의 방사선

방사능·방사선이 본격적으로 이용되기 시작한 것은 1950년대부터지만, 지금은 한



국에도 방사선을 사용하는 많은 사업소가 있을 뿐만 아니라 우리들의 생활에 밀착되어 있다고 이야기를 해도 과언이 아니다.

방사능·방사선의 이용에 대하여 아래와 같이 세가지로 구별하여 설명할 수 있다 (표1). 첫째로, 방사선의 검출감도가 예민하다는 것을 이용하여 추적자로서 활용할 수 있다. 예를 들어, 유해한 비소나 수은화합물이 체내 장기에 어느 정도 축적하는지를 알아보는 경우, 쥐가 병증을 보일 정도의 양을 투여하지 않으면 각 장기중의 농도를 검출하는 것이 불가능하다. 그러나, 방사성 비소나 수은화합물을 투여한 경우 무시될 수 있는 양에서도 방사능은 충분히 강하기 때문에 간단히 각 장기중의 분포를 조사하는 것

이 가능하다. 이와 같은 원리를 응용하여 화학반응의 추적이나 유전자 공학연구에 폭넓게 이용되고 있다.

둘째로, 방사선의 투과, 흡수, 전리, 화학작용, 생물작용 등을 이용하는 방법이다. 예를 들어서, X선 촬영등에 의한 진단은 방사선의 투과작용을 이용한 것이고, 의료용 주사침등의 방사선에 의한 멸균은 그의 생물작용을 이용한 것이다. 또한, 암 치료에 있어서 방사선조사는 최대의 무기로 되어 있다. 감자의 방사선 조사에 의한 발아방지도 대표적인 이용예의 하나이다.

셋째로, 방사성 물질을 고고학적 가치를 알아보기 위한 도구로 이용하는 방법이다. 방사성 물질은 불안정한 물질이기 때문에

표 1. 우리 생활 환경 중의 방사선과 방사능 물질의 이용

의료적 이용	질병진단 및 치료 X선 검사
산업적 이용	식품보존 및 살균 품질개선 용접검사 고분자 중합 유전자공학 연대측정 비파괴검사 화합물 합성 조류, 수류 조사 원자력발전 원자력선 핵융합로 해수탈염 지역난방 원자력제철



시간이 경과하면서 붕괴되며, 그 빠른 정도는 물질의 종류에 의해서 결정된다. 예를 들어서, 반감기 100년의 물질이라면, 100년을 경과하게 되면 방사능의 강도는 원래의 반으로 된다. 그렇기 때문에 물체의 형태가 만들어질 때 함유된 방사성 물질의 양을 알 수 있다면 현재 남아있는 방사성물질의 양을 측정하여 연대를 계산하는 일이 가능하다. 이런 방식으로, 지금은 100억년 정도까지 연대측정이 가능하게 되었고 우주탄생이나 별에 대한 연령의 결정에도 도움이 되었다.

위에 기술한 세가지 이용법은 폭 넓게 응용되고 있기 때문에 구별하여 설명하는 것은 어렵다. 금후에도 생명공학이나 의료분야에서 많은 이용이 있을 것으로 예상되며, 아울러 지금까지 불가능하던 것들이 방사능에 의해서 점차로 가능하게 될 것이라고 생각된다.

본 투고에서는 이런 활용도에 반드시 뒤따르는 방사선의 생물학적인 영향을 포함한 고찰을 하여보자는 뜻으로 먼저 방사선 생물학을 이해하는데 필요한 지식을 용어적 설명에 맞추었다. 구체적인 내용은 차기 투고 시에 유전학적 그리고 생물학적 지표에 중점을 두고 작성을 하고자 한다.

2. 방사능과 방사선

"방사선=방사능"이 아니다.

방사능이나 방사선이라고 하면, 암이나 백혈병의 원인으로 공포스런것이라고 오해하고 있지만, 사실은 우리주위 어디에든 있는 일반적인 것이다. 방사능이라고 하는 것은, 본래 불안정한 원자핵(양자와 중성자

등의 적은 입자가 조합되어 형성됨)이 방사선을 내면서 또다른 원자핵으로 변화하는 능력을 붕괴 또는 변환이라 말한다. 또한, 방사능을 갖는 물질을 방사성물질이라고 말한다. 방사선은 방사성물질로부터 나오고 있지만 병원에서 사용하는 X선 발생장치와 같은 기계에서 나오는 것도 있다.

방사선은 공간을 이동하는 에너지의 흐름으로 텔레비전이나 라디오의 전파도 그의 일종이다. 방사성 물질로부터 나오는 방사선에는 알파선, 베타선, 감마선이 있으며, 원자핵이 붕괴할 때 방출되는 중성자도 있다.

3. 방사선의 종류와 성질

방사선의 영향은 '투과력'과 "전리능력"으로 결정된다.

방사성물질로부터 나오는 방사선은 저마다 종류가 다르고 별개의 에너지를 가지고 있다. 이와 같은 차이는, 방사선이 물질을 관통하는 힘, 다시 말해서 "투과력"의 차이로 나타난다. 알파선은 무겁고, 속도가 늦기 때문에 물건을 관통하는 힘이 약해서 수 센티미터의 공기 층이나 종이 한 장도 투과를 못하는 반면에, 베타선은 전자의 흐름으로 가볍고, 속도도 빛의 속도와 비슷하기 때문에 얇은 플라스틱판 등을 투과한다. 그러나 감마선과 비교해 훨씬 약한 투과력이다. 감마선은 빛 등과 같은 전자파로서 속도도 빛의 속도와 같기 때문에 투과력이 매우 강하고, 그것을 막기 위해서는 두꺼운 콘크리트나 납판을 필요로 한다. 물론, 같은 종류의 방사선에 (예를 들어 베타선) 비교하여 보면 에너지가 높은 만큼 투과력을 가지고 있다.



방사선이 물질에 도달하면 플러스(+)나 마이너스(-)이온을 만들며 이것을 "전리능력"이라고 부른다. 전리능력이 클수록 방사선의 영향이 크게 된다. 투과력과 반대로, 전리능력은 알파선이 제일 강하고, 베타선, 감마선의 순으로 약하게 된다. 투과력과 전리능력을 한꺼번에 모아서 생각해 보면, 알파선을 내는 것은 인체의 외부에 있는 경우는 영향이 없고, 베타선은 피부 부근의 근육까지 영향을 미치며, 감마선은 인체의 깊은 부위까지 투과하기 때문에 주의할 필요가 있다. 그러나 방사성물질이 체내에 들어오면, 알파선이 무엇보다도 영향을 크게 주는 물질로 된다.

방사선은 알파선, 베타선, 감마선 외에도 중성자, 양자선, 전자선, X선 등이 있다. 이것들은 통상, 핵분열이나 핵반응 등에 의해서 나오기도 하고, 가속기 등을 사용해서 인공적으로 발생시키기도 한다. 원자로 안에서 우라늄의 핵분열에 의해서 중성자가 발생하는데, 그 자체의 수명이 있어서 15분의 반감기(수가 반으로 되는 시간)로 양자와 전자 그리고 중성자로 붕괴되고 만다. X선은 감마선과 같은 에너지 크기의 광선의 일종으로서 X선 검사등에 이용되고 있다. 방사선이 물질에 도달하면 갖가지 작용을 하지만 최종적으로는 열 에너지로 변한다.

4. 방사능과 방사선의 단위

방사능의 양은 베크렐(Bq), 방사선의 양은 밀리시버트(mSv)

앞에서 설명을 했던 것처럼 방사능을 갖

는 물질을 방사성 물질이라고 말한다. 또한, 방사능의 양은 바꾸어서 말하면 방사성 물질의 양이 된다. 방사성물질도 화학물질이며 일상적으로 받아들이는 양은 매우 미량이고, g단위로 표시하면 소수점이하에 많은 0이 나열되어 불편하기 때문에 큐리(Ci)와 Bq과 같은 별개의 단위를 사용한다. 1988년까지는 Ci단위만이 사용되었지만, 방사선규제 법율이 변하면서 1989년 이후에는 Bq단위로 표현하게 되었다.

1Ci는 방사성 물질이 1초간에 3.7×10^{10} 개(370억)로 붕괴하는 양으로서 수치가 매우 크기 때문에 그의 1,000분의 1을 밀리큐리(mCi), mCi의 1,000분의 1을 마이크로큐리 그리고 Ci의 1,000분의 1을 피코큐리(pCi)로 하는 단위가 사용되고 있다. 의료용으로서 암 치료장치에 수천Ci의 코발트가 이용되고 있지만, 실험용으로 방사성 물질을 구입하는 경우에는 mCi정도의 것도 있다. pCi정도의 방사성 물질은 자연계의 모든 곳에 존재하기 때문에 환경 방사능의 표시에 사용된다.

Ci와 pCi의 크기를 쉽게 설명하기 위하여 Ci를 지구와 화성의 중간의 거리에 비교한다면, pCi는 개미 한 마리의 크기에 비교할 수 있다. pCi라고 하는 것은 매우 적은 방사선 물질의 양을 표현하는 것이다. 방사능의 측정치는 보통 1분당의 카운트 수로서 표현하고 있지만, 반대로 방사성 물질로부터 나오고 있는 방사선을 전부 잡을 수 있는 측정장치(카운터)로서 1pCi의 방사능을 측정해보면 1분당 2.22카운트로 된다.

Bq도 방사성물질의 양을 표시하지만, 이



것은 1초당 한 개의 피변에 해당하는 양이다. Ci와 비교하면 극도로 적은 수치로 되기 때문에 pCi와 비교하면 다음과 같이 된다.

$$1\text{Bq} = 27\text{pCi}$$

다시 말해서, 새롭게 사용되는 단위의 Bq를 종래의 단위 pCi로 환산하기 위해서는 27배로 계산하면 된다.

방사선의 영향을 생각하는 경우에는 방사선을 통째로 묶어서, 조사선량, 흡수선량 및 선량당량의 세 종류의 단위가 결정되어 있다.

조사선량에는, 공기 1Kg에 1쿨롱의 이온을 만드는 감마선 또는 X선의 양으로서 쿨롱/Kg을 단위로 해서, 흡수선량은 물질 1Kg당 1주울의 에너지 흡수가 있는 경우의 선량으로 그레이(Gy)를 단위로 하고 있다.

선량당량은 인체에 방사선이 도달하는 경우의 흡수선량을 표현하는 것으로서 물질의 흡수선량인 수정계수를 가산한 것이다. 이것은 인간의 경우, 같은 선량을 받았어도 방사선이 선원에 따라서 인체에 미치는 영향을 나타내는 방법이 다르기 때문에 종래 램(rem)이라고 하는 단위가 사용되었지만, 새로운 단위로서는 Sv를 사용하고 있다. 여기에 인간에 대한 방사선의 영향(피폭선량)을 생각한 경우에는 rem과 Sv단위를 사용하지 않으면 안 된다. rem과 Sv를 비교하면 다음과 같다.

$$100\text{rem} = 1\text{Sv}$$

그러나 일반환경에서는 이와 같이 큰 선량에 노출되는 경우가 없기 때문에 rem이나 Sv는 사용하기 어려운 관계로 그것의 1,000분의 1 크기의 밀리램 (mrem)이나 mSv 단

위가 사용되고 있다. 참고로, 직업상 방사선을 이용하고 있는 사람의 선량당량의 제한은 1년당 5rem (50mSv)로 되어 있다.

5. 천연 방사성 물질과 인공 방사성 물질과 무엇이 다른가?

일반적으로 천연 방사성 물질은 안전하고 인공 방사성 물질은 위험하다고 생각하고 있는 사람이 있으나, 결론적으로 말한다면, 천연일까 인공일까 만이 다를 뿐 본질적으로 같은 물질로서 아무런 차이가 없다. 우선, 모든 물질의 원자핵이 불안정하다면 방사선을 내면서 붕괴하면서 안정한 원자핵으로 변하게 된다.

천연 방사성 물질에는 앞서서도 이야기 했듯이 지구가 탄생한 순간부터 포함되어 있던 물질과 현재 상층 대기중에서 우주선과의 상호작용에 의해서 생성되고 있는 것이 있다. 우주선과 공기의 상호작용으로 생성한 물질 가운데 방사성탄소는 약2만 미터 상공에서 1년간에 약3만 Ci(1억 Bq의 1,000만 배)가 생성되고 공기중의 이산화탄소와 혼합해 대류에 의해서 지상에 하강해 물과 동식물에 포함된다.

환경 중에 있는 인공 방사성 물질의 대부분은 핵 폭발 실험으로 부터 유래된 것이다. 핵 폭발 실험도 초기에는 우라늄을 이용한 핵 분열, 후기에는 플루토늄을 이용한 핵 분열과 수소의 핵 융합반응을 이용하였는데 이에 따라서 생성된 방사성 물질도 다양하게 되었다. 최근에는 대기권내의 핵 폭발 실험은 수행되지 않게 되어 새



표 2. 인체중의 방사성 물질 농도

방사성 물질의 종류	70Kg 사람의 인체 내에 포함된 양 (Bq)
칼륨-40	4667
탄소-14	2852
루비듐-87	596
납-210 또는 폴로늄-210	5.2-104

로운 방사성 물질이 대기중에 흡입되지 않게 되었는데, 1960년대의 핵 폭발 실험에서 생성된 세슘-137이나 스트론튬-90등 긴 수명을 갖는 방사성 물질만이 환경 중에 잔존 되어있다.

방사성 물질 가운데는 방사성탄소나 트리튬과 같은 천연과 핵 폭발 실험 양쪽에서 생성되는 물질이 있는 반면에, 라듐이나 라돈 같이 천연에서 기원하는 것, 세슘-137이나 스트론튬-90과 같이 핵 폭발 실험에 의해서 발생하는 것이 있다. 그것은 전부 환경 방사선으로서 우리주위에 존재하지만 각 원소의 성질에 따라서 환경 중을 순환하고 있어, 천연과 인공의 것을 구별하여 생각하는 것은 있을 수 없다. 이런 물질로부터 나오는 방사선의 종류나 에너지도 각 방사성 물질의 성질에 따라서 결정되고, 천연이니까...인공이니까...라고 하는 것에 의해서 결정하는 것이 아니다. 또한 수 많은 핵 폭발 실험이나 체르노빌 사고 등으로 인공 방사성 생성물이 환경 중에 방출되었지만, 천연 방사성 물질의 양에 비해서는 미량으로서 인간 생활에 거의 영향을 끼치지 않는다.

6. 물이나 식품에 포함된 방사능

건조한 버섯 1Kg당 670Bq의 천연 방사능이 !

우리들이 매일 먹는 물이나 음식물 가운데 방사성 물질이 포함되어 있다고 말한다면 이상하게 생각하는 사람들이 많을 것으로 생각하지만, 우리주위에는 천연과 인공 방사성 물질이 많이 있기 때문에 이상할 것 하나도 없다.

표면해수나 하천수, 호숫물, 빗물 등 이른바 천연수 중에는 라돈이나 트리튬 등의 방사성 물질이 포함되어 있다. 라돈의 함유량은 표면수 보다 지하수에 높게 나타나는데 이것은 라돈이 지하의 암석으로부터 지하수로 녹아 들어오기 때문이다.

트리튬은 상층대기로부터 지표면에 하강해 오는 방사성 물질이기 때문에 깊은 지하수에서는 농도가 낮게 나타난다. 1963년, 핵 폭발 실험이 성행하였던 무렵 일본 동경의 빗물 1 리터당 약 37Bq의 높은 농도가 검출된 경우가 있었지만, 현재의 빗물에는 1Bq정도밖에 포함되어 있지 않다. 하천이나 호수에서는 2-15Bq로 높게 나타나고 있는데, 그 이유는 과거 핵 폭발 실험때의 트리



틈이 지하수에서는 축적되어 조금씩 혼입되고 있기 때문이다. 미국이나 중국과 같은 대륙에서는 하천이나 호수의 트리튬 농도는 일본의 5-10배의 농도로 나타난다. 또한 200-300미터 깊이의 지하수까지 도달하는데는 많은 시간이 걸리게 되고 그 사이에 트리튬은 붕괴되어 사라지고 말기 때문에 트리튬 농도는 특별한 장소를 제외하고 0으로 된다.

한편, 인간의 식품도 지상에서 물을 섭취해 가면서 생육한 것이기 때문에 여러 가지 방사성 물질을 포함하고 있는데, 그 가운데에서도 가장 많은 것이 칼륨-40이다. 칼륨은 생체 내에서 중요한 역할을 하고 있기 때문에 사람은 식품을 통하여 섭취할 필요가 있고, 신체 칼륨의 0.012%는 방사선을 방출하는 칼륨-40이라고 하는 천연 방사성 물질이다.

일상식품으로서 섭취하는 칼륨 1g은 방사능으로서 칼륨-40을 약32Bq 포함하고 있다. 예를 들어, 건조한 버섯류는 1K당 21g의 칼륨을 함유하고 있기 때문에 건조한 버섯류 1Kg당 $32 \times 21 = 670$ Bq의 칼륨도 함께 함유하고 있는 것으로 된다. 이런 계산방식은, 양이 많고 적은 차이는 있지만 전체 식품에 대하여 동일하게 적용 할 수 있다.

식품에는 칼륨-40이외에도 방사성 탄소, 트리튬, 납-210, 폴로늄, 라듐 등 여러 가지 방사성 물질이 포함되어 있다. 그러나, 핵 폭발 실험이나 체르노빌 원발사고로 환경에 방출된 세슘-137이 상당히 검출된 식품도 있지만 이 양은 천연의 방사성 물질의 양에 비교해보면 극히 적은 것이다.

7. 인체 중에 포함되어 있는 방사성 물질

체내의 방사성 물질은 무한히 축적하는 물질이 아니다.

방사성 물질을 포함한 물이나 식품에 의존하여 생활을 하고 있는 우리체내에는 당연히 방사성 물질이 포함되어 있다. 예를 들어, 칼륨-40에 대하여 기술하여 보면, 사람 체중의 0.2%가 칼륨이며 그 가운데 0.012%가 방사성 칼륨이다. 이 외에도 수 종류의 천연 또는 인공 방사성 물질이 포함되어 있지만 중요한 것을 방사성 단위로서 표현해 보면 표2와 같다.

사람은 이런 방사성 물질에 의해서 체내에 방사선을 받고 있는데 이것을 "내부피폭"이라고 부르며, 체외 방사선으로부터 받는 "외부피폭"과 구별하고 있다. 방사성 물질을 포함한 식품을 매일 먹으면 이것이 체내에 축적되어, 결국에는 방사능인간으로 될 것으로 생각하는 사람도 있지만 그것은 큰 오해다. 어떤 사람에게 방사성 물질이 포함된 식품을 먹게 하면 방사능 수준은 올라가지만, 방사성물질의 체외배출도 이루어지기 때문에 일정한 시간이 지나게 되면 체내에서 방사능 수준이 그 이상 증가하는 일은 없다. 예를 들어, 앞에서 기술한 칼륨-40은 식품으로서 매일 먹을 수 밖에 없지만 체내 칼륨-40은 항상 일정량으로 유지된다.

또한, 방사성 물질은 반감기로서 표현되는 수명이 있어서 체내에서 매일 조금씩 감소해 가기 때문에 반감기가 약 1주간인 요오드-131같은 것은 빠르게 소멸되고 만다. 한편, 반감기가 약 30년인 세슘-137등의 경우는,



체내에서 30년 이상 축적되어 있을 것으로 생각할 수 있지만, 30년이라고 하는 것은 세슘-137이 본질적으로 가지고 있는 물리적 반감기이며 실제로는 약 100일의 반감기(생물학적 반감기라고 부른다)로서 체외로 배출 된다. 다시 말해서, 인체 내에서 감소해가고 있는 것이다.

이상과 같은 이유로서, 천연 방사성 물질을 매일 식품을 통하여 먹고 있는 우리체내 방사능 수준은 일생동안 일정하게 유지된다. 동일한 이유로서, 인공 방사성 물질인 세슘-137등을 식품을 통하여 섭취하는데도 계속해서 축적되지 않는 것이다.

8. 사람은 자연방사선을 어느 정도 받나?

자연 방사선에 의한 피폭은 연간 2.1mSv정도이다

지상에 사는 인간은 주위의 자연방사선 때문에 전세계 평균치로서, 지상의 암석이나 토양으로부터 연간 0.4mSv, 우주선으로부터 0.35mSv, 음식을 통해서 0.35mSv, 또한 공기중의 라돈으로부터 0.1mSv, 통틀어서 연간 2.1mSv 피폭당하고 있는 것으로 추정되고 있다. 그러나 이 수치는 평균치이고, 자신의 사는 지역이나 생활양식에 의해서 상당히 변동한다. 예를 들어서, 지역의 암석대등에 따라서 방사선량이 차이를 보인다. 전세계적으로 본다면, 중국, 인도, 브라질에서는 연간 5-20mSv 정도가 되는 지역도 있다.

또한, 우주선의 강도는 높이와 함께 증가되는데, 해발 4,500미터에서는 평균의 5배에, 16,500미터의 상공에서는 75배 까지 도달한

다. 멕시코시나 콜로라도와 같이 높은 지역에 위치하는 도시에 사는 사람은 평지 사람과 비교하여 수배의 피폭을 당한다. 아울러, 비행사 같은 직업적으로 고공으로 비행하는 사람은 일반인보다 많은 우주선을 받는다. 반대로 원양어업 종사자와 같이 장시간 해면에 체재하는 사람은 해저나 육지의 암석이나 토양으로부터 오는 방사선이 물에서 차단되는 장소에 있는 것이 되기 때문에 방사선을 받는 양은 상당히 적게 된다.

주거상황을 고려하여 보면, 벽돌이나 콘크리트집에서 사는 사람이 목조집에서 사는 사람 보다 20-30% 방사선을 더 받는다. 물론 콘크리트도 재료가 되는 모래의 차이에 의해서 방사선이 상당히 다르게 된다. 연중, 공기중의 라돈이 폐암발생에 관계하고 있지 않나 하고 염려할 수도 있지만 같은 공기조건에서 콘크리트 실내를 폐쇄한 경우는 라돈량이 상승하는데 콘크리트 주택에서는 1입방미터 공기당 7.4-18.5Bq에 도달한다. 환기라고 하는 것은 산소나 이산화탄소량뿐만 아니라 방사능의 관점에서도 중요한 것이다.

폐암을 설명할 때면, 담배가 화제로 떠오르게 되는데, 담배잎에는 납-210이나 폴로늄-210등의 방사성 물질이 통상의 식물보다도 많이 포함되어 있으며 산지에 따라서도 다르다. 담배연기에는 벤조피렌등 발암성 화학물질도 포함되어 있기 때문에, 담배에 의한 발암 위험도에 방사성 물질의 배가관계가 있는지는 알 수 없지만, 먼저 담배 한 갑의 발암성은 방사선량으로 해보면 0.01-0.04mSv에 해당한다는 연구보고가 있다. 미국 쓰리마일섬 사고 시, 80Km이내에 있던



사람의 방사선량이 평균 0.015mSv로 추정되었다는 것을 생각해 보면 담배의 영향을 무시할 수 없다.

9. 원자력시설로부터 방사선은 어느 정도 나오나?

원자력발전소로부터 나오는 방사선량은 측정되지 않을 정도로 적다.

방사성 물질을 사용하는 공장이나 연구기관은 국내에서도 증가 추세에 있으며, 이런 장소는 원자력법에 의해서 관리를 엄격히 받고있다.

우리나라의 원자력발전소는 2002년 3월 현재 16기가 운전되고 있다. 원자력발전소 주변에 상당한 양의 방사성 물질이 방출되고 있다고 오해를 하고 있는 사람이 많은 것 같은데, 일상 운전시 주변에 어떤 정밀한 측정기를 가지고 측정을 한데도 자연방사선 이외에 측정되는 것은 없다. 확실히 발전소로부터 방사성 희석가스과 배수로서 트리튬 등이 방출되고 있지만 자연방사능 수준 정도의 양 밖에 안 된다. 이와 같은 엄격한 관리배출에 의해서 발전소 환경에서 측정되는 방사선량이 0.05mSv이하로 되게 설계되어 있지만, 실제로는 발전소의 경우 0.01mSv이하로 측정된다.

덧붙여서 말하면, 일반인의 연간 피폭선량의 한도는 1mSv로 되어 있다. 일반인의 방사선 피폭량은 원자력발전소 주변에 살까... 그렇지 않을까...가 아니라 한국의 어느 지역에 살고있을까라는 것에 의해서 결정된다고 생각 하는 것이 좋겠다. 즉, 별차이가 없다는

이야기가 된다.

방사성물질 취급자나 관련 종사자가 일반인보다 방사선을 더 많이 받을 것으로 예상하고 있다. 그러나 연구소등에서 연구목적으로 1,000Sv정도의 방사선을 취급하고 있는 사람의 예를 들어 설명하면, 1개월당 필름배지(가슴에 착용하는 방사선량 측정용기)로서 측정된 양이 0.1mSv를 넘는 사람은 없었다. 이런 이유에서, 외국에서는 이 정도의 실험은 특별한 시설이 아닌 일반인이 출입하는 건물의 중간에서 하고 있을 정도이다.

아울러, 직업적으로 방사선작업에 종사하고 있는 사람의 방사선량의 한도는 연간 50mSv로 되어 있다. 이 수치는 지금까지 얻어진 갖가지 생체영향실험 데이터를 기준으로 하여, 이 정도의 피폭에서라면 평생 방사선작업에 종사하여도 의료적으로 일어나는 방사선영향은 보이지 않을 것이라고 하는 수치이다.

10. 의료피폭

X선 조사는 1mSv, 위 투시 경우에는 15mSv

방사성 물질이나 방사선을 많이 이용하는 곳은 의료, 의학, 생물학 분야이다. 따라서, 의료행위에 연결된 인간의 방사선 피폭은 자연 방사선에 의한 피폭 다음의 것으로서, 원자력발전소등의 피폭양보다 크다.

의료분야에서 오래 전부터 이용하여 왔던 X선 검사는 일반 피폭의 대표적인 예라고 할 수 있는데, 흉부검사 1회당 0.3-1mSv, 위 투시검사시는 5-15mSv가 피폭된다. 흉부 X



선 검사는 불치의 병이라고 말하던 폐결핵 박멸에 큰 역할을 하였지만, 집단검사에 의한 방사선피폭의 위험도와 폐결핵 예방의 장점 가운데 어느쪽이 클까를 생각해서 새로운 대책을 세울 수 있다면 좋겠다.

의료용으로는 방사선 조사를 이용하는 것 뿐만 아니라 방사성 물질 그 자체를 진단이나 치료에 이용하는 일도 가능하다. 자주 이용되고 있는 방사성 물질로 테크네슘-99m, 요오드-131, 칼륨-67 등이 있지만, 이것들은 반감기가 짧고, 빨리 신체에서 제거되며, 체외로부터 검출하기 쉬운 감마선만을 방출한다는 성질을 가지고 있다. 예를 들어서, 테크네슘-99m을 함유한 생리식염수를 혈관에 주사하고 체외로 방사되는 감마선을 측정하면 심장으로의 혈액의 출입과 전신혈류의 양상을 정확하게 검사할 수 있다. 또한 요오드-131를 포함한 물을 환자에 직접 마시게 하고 시간의 경과와 함께 갑상선에 모아지는 요오드-131을 체외로부터 측정함으로써 갑상선 기능을 진단할 수 있다. 이와 같은 목적을 위해서 100Bq의 방사선 물질을 직접 체내에 넣는 것이기 때문에 당연히 체내피폭이 있겠지만 증가하는 환자의 건강을 보호한다는 잇점이 크기 때문에 허용되고 있는 것이다. 방사선의 의료적 이용은 급속히 증가되고 있으며, 원자로나 사이크로트론이라고 하는 대형장치도 사용되게끔 되었다.

11. 원자력발전소사고는 인간에게 어느 정도 방사선 피폭을 줄까?

1973년 미국 쓰리마일섬과 1986년 구 소련

에서 일어난 원자력발전소 사고는 전세계에 큰 충격을 주었다. 이와 같은 대형사고가 동서의 양쪽 대국에서 일어났다고 하는 것은 양국 모두 핵 무기를 개발하여 보유하고 있는 나라로서, 기술자의 원자력에 대한 나태한 인식이 원인이 아니었나 생각하게 한다.

또한, 위에 두 사고시 주변에 대한 방사선의 영향에 대하여 여러 나라의 환경 방사능 연구자를 중심으로 과학적인 연구가 진행되어 몇 개의 보고서가 정리되었다. 보고서에 의하면, 쓰리마일섬의 경우는 외부에 방출된 방사성 물질의 양은 적었을 뿐만 아니라 방사선의 영향도 경미한 것이었다. 반경 80Km 이내의 약 200만명의 주민이 1979년 3월28일부터 4월7일까지 받았던 방사선량은 한 사람 평균 0.015mSv, 최고 1mSv이하로서 자연 방사능이나 의료방사선 피폭에 비교해도 문제되지 않는 양이었다. 또한, 발전소로부터 약 5Km이내에 주민에 대하여 체내 방사능을 측정하였지만 이상은 관찰되지 않았다.

체르노빌발전소 사고의 경우는 사고가 매우 심각해서, 외부로 다량의 방사성 물질(약 1억 큐리라고 추정되었음)이 방출되어 방사선 및 화재에 의한 사망자도 발생하였다. 8,000Km정도 떨어진 일본에서도, 빗물, 식물 등에 각종의 방사성 물질이 검출되었지만, 중국에서의 핵 폭발 실험보다 조금 많은 정도였기 때문에 물이나 야채에 대한 섭취제한 조치는 필요하지 않았다. 방사능은 검출강도가 높아서 통상의 화학물질에서는 도저히 검출되지 않는 초미량까지 측정이 가능하기 때문에 상대적으로 일반인에게는 불안감을 줄 수도 있다.



표 3. 일시에 대량의 방사선에 노출된 경우의 효과

피폭선량	증상
250mSv이하	임상적 증상은 대부분 보이지 않는다.
500mSv이하	백혈구(림프구) 일시적 감소
1,000mSv이하	구토, 전신권태
1,500mSv이하	0%의 사람에서 방사선 속취
52,000mSv이하	5%의 사람이 사망
4,000mSv이하	30일간에 50%의 사람이 사망(반치사 선량)
6,000mSv이하	14일간에 90%의 사람이 사망
7,000mSv이하	100%의 사람이 사망(치사선량)

체르노빌 주변의 사람들의 피폭선량은 당연히 높았는데 사망한 29명에서의 약 4,000mSv를 최고로, 발전소로부터 거리, 지형, 사고 후 기상조건 등에 따라서 다양한 피폭선량이 계산되었다. 발전소로부터 30Km이내의 주민 13만5천명을 대상으로 수행한 역학조사 결과 이 사고가 원인이 되어 장래 암 발생 사망 수가 자연 암 발생 사망수를 160-300명 정도 초과하게 될 것이라고 예측되었다.

이와 같이 큰 사고가 있었던 장소이기 때문에 사람이 살지않는 유령도시로 변하지 않았나 하고 생각하는 사람도 있을지 모르지만, 1988년 방문조사 보고에 의하면, 발전소와 그 주변에는 종업원을 포함해 7,800명이 사고가 일어나지 않았던 원자로의 운전 관리등을 하고 있었다고 한다. 또한 방사선량도 낮아져서 1987년 발전소작업자의 평균 피폭선량은 1년당 15mSv로 되어 있었다고 한다.

우리나라에서도 원자력발전소를 운전하고

있지만, 환경에 영향을 줄 수 있는 방사성 물질의 방출은 없었기 때문에 인간에 대한 영향도 생각할 수 없다. 발전소 밀도가 높은 울진, 고리 그리고 영광 지역에 대한 방사선 영향을 역학적으로 조사한 몇 개의 보고가 있었지만, 그 결과는 당연히 비교 지역의 데이터와 차이가 없었다.

12. 방사선의 인체에 대한 영향

대량의 방사선에 의해서 내·외부피폭을 당한 경우에 방사선 장해를 일으킨다는 것은 잘 알려져 있다. 방사선장해는 크게 구분하면 신체적 영향과 유전적 영향으로 나눌 수 있다. 신체적 영향은 방사선을 받은 본인에 나타나는 영향이고, 유전적 영향은 자손에 나타나는 영향이다.

신체적 영향으로는 방사선을 받았을 때부터 수주간 이내에 표현되는 급성효과와 수년 부터 수십년 후에 병증으로 나타나는 만성 효과가 있는데, 전자는 백혈구 감소, 탈모, 볼

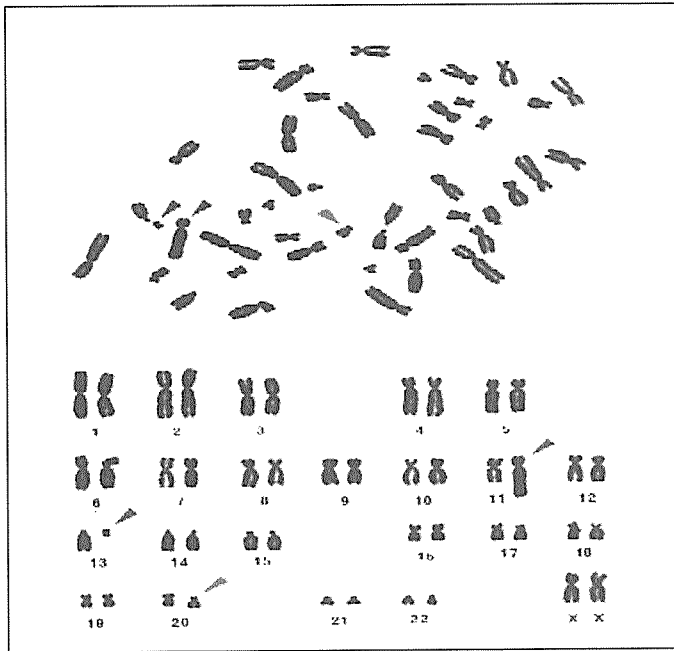


그림 1. 방사선 조사 후 사람 말초혈액 림프구에 나타난 염색체이상(화살표, <http://www.rfri.or.jp>인용)

입 등이 있고, 후자로는 암 발생, 백내장 등이 있다.

유전적 영향도 만발효과의 일종으로서, 쥐를 이용한 실험에 의해 생식선에 대량의 방사선을 받으면 자손에 돌연변이가 일어난다는 것이 밝혀졌다. 인간에서는 방사선에 의해서 돌연변이가 일어났다고 하는 확실한 증거는 아직 없지만 일어날 것이라고 생각하는 것이 당연하다고 여겨진다. 방사선에 일시적으로 피폭당한 경우에는 표 3과 같이 급성영향이 관찰되는데 동일 선량에 피폭당해도, 장시간에 걸쳐서 소량씩 피폭되는 경우에는 증상이 가볍게 된다. 이것은 인간의 세포나 조직이 방사선 손상에 대한 회복력이 있기 때문이다.

대량의 방사선 피폭에 대한 인체영향은 상당히 알려져 있지만, 미량의 방사선과 자연방사선에 대한 인체영향을 실험적으로 밝히는 것은 결코 쉬운 일이 아니다. 이런 이유로 국제적인 방사선 전문가 집합체인 국제방사선방호위원회(ICRP)에서는 의학적 경험, 생물학적인 실험에 기초하여 방사선영향을 추정하여 허용 될 수 있는 선량한도를 정한 다음 권고서를 발표하였다. ICRP가 정한 일반공중의 전신피폭에 대한 선량한도는 1년간 1mSv로, 의학적으로 감지할 수 있는 장해를 일으키지 않으면서 방사선 이외의 영향과 구분할 수 없는 최저선량을 제시한 것이다.

체르노빌사고 이후, 식품중의 방사능 역시



문제되었지만 일본에서의 보고는 식품에서 염려할 정도의 오염은 없었다고 한다. 아울러 방사성 강하물에 의한 야채의 오염은 거의 야채의 잎 표면에 부착하는 것이기 때문에 물 세척만으로도 반정도로 감소된다.

수입식품 중에는 방사능 수준이 굉장히 높은 것이 있기 때문에, 검사시 기준을 초과하는 물건은 수입대상 나라에 돌려보내는 조치가 취해지고 있는데 일반적으로 세계 여러 나라에서 선택하고 있는 기준치는 식품 1Kg당 370Bq이다.

현재, 체르노빌사고에 의하여 식품 중에 포함되어 있는 방사능은 수명이 긴 방사성 세슘에 의한 것이지만, 기준치 한계 1Kg당 370Bq를 포함한 식품을 1년간 매일 1Kg을 먹었다고 해도 연간 피폭선량은 흉부 X선 촬영을 1-2회 받는 것과 같아서 약2mSv정도 밖에 안 된다. 그러나, 방사성 세슘이 1Kg당 370Bq를 함유한 식품은 드물 뿐만 아니라 1일 1Kg을 매일 계속해서 먹는 것도 현실적으로 있을 수 없는 일이기 에 식품 중의 방사능에 대해서는 그 다지 신경을 쓸 필요가 없다고 생각한다.

13. 신체 세포의 돌연변이는 무엇을 의미하는가?

세포유전학적 손상에 의한 암 발생?

1950년 무렵에는 방사선의 작용 가운데 유전적 영향에 의한 돌연변이의 유발에 관심이 많았다. 또한, 그 무렵 방사선에 의한 수명단축이라고 하는 가설이 언급되기 시작 하여, 1958년의 국제방사선방호위원회

(ICRP)의 권고에서 방사선에 의한 하나의 중요한 장애로서 받아지게 되었다. 이것은 후에 잘못되었다고 결론지어져서 권고에서 없어지게 되었다. 그러나 방사선에 의한 수명단축을 노화와 관련 지었던 바, 이 설명을 위해서 체세포 돌연변이설이 주창 되었으나 체세포 돌연변이를 조사하는 좋은 방법이 없었다. 대신에 제안된 방법이 염색체이상 분석법이다 (그림 1). 볼록햄슨 국립연구소의 가치스 박사는 방사선을 연속해서 조사 하면 마우스 간장의 세포에서 염색체 이상이 단계별로 나타나 이것이 마우스의 수명을 더욱 짧게 만든다고 보고하였다. 그런 도중에 가치스 박사의 사망으로 연구가 중단이 되었지만, 그의 연구는 당시에 많은 사람들의 관심을 받았다.

그 후, 체세포의 돌연변이를 조사하는 방법이 발전되어 체세포와 생식세포모두 같은 정도로 돌연변이를 일으킨다는 것이 밝혀졌다. 한편으로, 암세포는 많은 유전자에 돌연변이를 가지고 있다는 것이 밝혀지면서 방사선에 의한 돌연변이가 방사선 발암의 원인일 것이라는 가설이 유력하게 되었다. 이 돌연변이는 당연히 DNA의 변화이기 때문에 방사선에 의한 DNA 손상으로부터 최종적인 돌연변이까지의 과정은 명확하게 밝혀 지지는 않았지만, DNA 손상의 회복에 오류가 있거나, 수복이 100%완전하게 되지않는다면, 필수적으로 돌연변이로 된다고 생각해도 틀리지 않다. 그래서 ICRP는 "방사선은 아무리 적은량이라도 해를 줄 위험성이 있다"라고 결론을 내리게 된 것이다.

그러나, 최근의 연구 결과로 인체영향은



그렇게 단순하지 않다는 것이 알려졌는데, (1) 실험동물에서 암 발생율은 방사선의 선량율에 의존하지 않으며, 돌연변이율은 선량율에 크게 의존한다는 사실이 밝혀졌다. (2) 세포실험에서 돌연변이 이외에 악성화를 조사한 바 선량반응곡선이 크게 달랐다. (3) 시험관 안에서 세포의 돌연변이를 조사한 경우에 보여지는 DNA의 변화와 방사선에 의해서 일어났다고 생각되는 종양에 보여지는 DNA의 변화 역시 크게 달랐다. 아직 이런 결과들에 대한 해석이 충분히 이루어 지지는 않았지만, 밝혀지지 않은 복잡한 현상이 방사선을 받을 때부터 암이 발생할 때까지 있다는 것을 짐작할 수 있다. 또한, 방사선에 노출되지 않아도 자연적 암 발생이

있기 때문에 방사선은 그 과정에서 무언가의 작용을 하고 있다고 생각하는 것이 좋을 듯 싶다. 최근의 연구 결과로서 저선량 방사선의 인체에 대한 영향을 규명하고자 하는 연구가 이루어지고 있는데, 면역력 증가, 화학암 발생 억제, 적응응답반응의 유도 등은 이런 맥락에서 관심을 가져야 할 중요한 분야라고 생각한다.

금번의 투고에서는 인체가 방사선(능)에 노출될 수 있는 가상상황을 설정하여 순서를 정하여 용어적 설명 중심으로 작성이 되었기에 방사선 세포유전학 분야등에 대한 구체적인 설명이 부족하였다. 다음 편에 기회가 닿는 데로 부족분에 대한 현재의 흐름을 정리해서 말씀 드리하고자 한다. **KRIA**

참고사이트및문헌

1. <http://www.nirs.go.jp>
2. <http://www.rerf.re.jp>
3. <http://hsp.org/newadevents>
4. <http://mext.go.jp>
5. <http://www.lowdose.com>
6. 渡り一夫?葉次? 西村義一°放射線と人? くらいしい中の放射線?成社' 2 0 0 0°
7. Nakano, I., Medical Care of Radiation Accidents. Soft Science.