

# 플루토늄과 방사선 피폭

- 반핵론자들의 무지에 대한 과학적 반론 -

반핵론자들은 원자력발전소의 연료 속에서 생기는 플루토늄은 지구상에서 가장 위험한 물질로, 1g만 있어도 백만 명에게 치명적인 암을 발생시켜 수많은 생명을 앗아간다고 주장한다.

이에 대해 원자력잡지인 「Nuclear Engineering International」誌 1995년 3월호는 그 주장에 대하여 과학적으로 분석, 결론을 제시하였다.

게재된 내용이 보건물리학 전문가들이나 이해할 수 있을 정도로 전문성을 띠고 있어, 이를 좀 더 쉽게 풀이하여 소개한다.



송 명 재

전력연구원 원자력연구실  
방사선안전연구팀장

**방**

사선의 영향에 관한한 세계적인 전문가들로 구성된 국제방사선방어위원회

(ICRP : International Commission on Radiological Protection)에서는 방사성물질이 몸 속에 들어갔을 때의 영향을 평가하는 방법을 고안해냈다.

방사성물질이 호흡기나 음식물을 통해서 몸 속에 들어갔을 때, 이 물질이 몸 속에서 이동하는 경로를 규명하고, 체내의 각 기관에 체재하는 시간을 계산하여, 몸 속의 특정 장기가 받을 수 있는 방사선량을 계산한다.

그리고 이로부터 몸의 전체가 받는 전신전량을 계산해낸다.

계산된 방사선량이 ICRP에서 권고한 제한치를 넘지 않을 때는 방사선 영향이 일반 산업재해 현장에서 발생하는 피해 정도보다 훨씬 더 적다고 생각하면 된다.

이러한 논리에 따라 ICRP에서는, 생애에 단 한번이라도 방사성물질이 호흡기기관이나 입을 통해서 몸 속에 들어갔을 때 받을 수 있는 방사선량을 평가하는 방법을 구체적으로 설정해서 ICRP 출판물인 ICRP-30으로 발

표하였다.

## ICRP-30의 방사선량평가방법

방사성물질이 일단 체내에 들어가게 되면, 다른 음식물과 마찬가지로 위나 장 등 신체 각 기관으로 이동하게 된다.

ICRP-30은 이러한 신진대사 모델을 간편하게 수식화하였다.

방사성물질이 통과하는 인체내의 각 기관을 한 개 한 개의 구역으로 표시하면, 인체는 신진대사를 하는 몇 개의 구역으로 나누어진다.

즉 방사성물질이 폐에서 위로, 또 위에서 장으로 이동하는 현상을 신체 의 한 구역에서 다른 구역으로 이동하는 것으로 간주할 수 있다.

그리고 방사성물질이 인체의 한 기관에서 다른 기관으로 옮겨 가는 비율은 미분방정식을 이용해서 계산한다.

이렇게 하면 몸 속에 들어간 방사성 물질의 인체내 각 기관에 남아 있는 양과 거기에 잔류하는 시간을 알아낼 수 있다.

한 기관에 들어간 방사성물질이 다른 기관으로 옮겨 가고, 최초로 들어

간 양의 반이 남아있을 때까지 걸린 시간을 생물학적 반감기라고 한다.

몸 속에 들어간 방사성물질이 여러 구역에 분포해 있는 양과 잔류기간, 그리고 생물학적 반감기는 방사성물질의 형태와 종류에 따라 달라진다.

최초에 몸 속에 들어간 방사성물질의 양을 알고, 또 수식화된 신진대사 모델에서 도출된 미분방정식을 풀면, 몸 속의 여러 장기 내에 분포되어 있는 방사성물질의 양을 시간의 함수로 표시할 수 있다.

시간 함수로 표시된 방사성물질의 양을 알면, 방사성물질에서 방출되는 방사선의 종류 또는 에너지는 이미 알려져 있으므로 각 장기가 받는 방사선량이 쉽게 계산된다.

이러한 방법으로 몸 속의 여러 기관이 받는 방사선량을 몸 전체가 받는 방사선량으로 환산한다.

각 조직이 받는 방사선량을 몸 전체가 받는 방사선량으로 환산하여 이를 모두 합한 값을 「유효전신선량」이라고 한다.

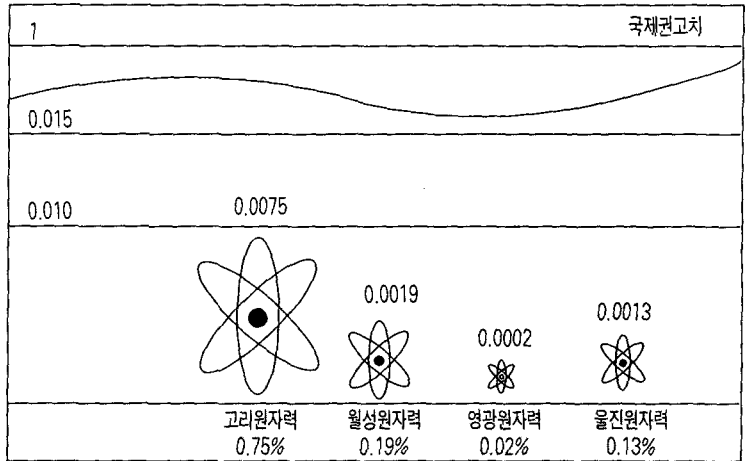
방사성물질이 몸 속에 들어갈 때 마다 ICRP-30의 모델을 이용하여 방사선량을 평가한다는 것은 꽤나 힘든 일이다.

그래서 손쉬운 방법이 고안되었는데, 바로 「연간섭취한도(ALI: Annual Limit on Intake)」를 이용하는 방법이다.

어떤 방사성물질이 우리 몸 속에 들어갔을 때, ICRP-30의 모델에 따라

〈표〉 원전주변 주민 연간 최대 방사선 오염량

(단위: 밀리시버트/연·인)



주: 발전소별 % 수치는 국제권고치에 대한 비율

그 사람이 앞으로 50년간 받을 수 있는 유효전신선량을 먼저 계산한다.

그리고 이렇게 계산된 유효전신선량이 방사선 작업자에 대한 피폭 제한치인 한 해에 5rem을 넘지 않는 최대 섭취량을 계산한다.

즉 방사성물질이 몸 속에 들어가 50년 동안 받을 수 있는 방사선피폭량을 한 해에 모두 받은 것처럼 하여 계산한다.

이것이 바로 연간섭취한도가 된다. 연간섭취한도에 이르는 양의 방사성물질을 매년 섭취하는 사람도, 방사선 피폭제한치를 초과하여 방사선을 받지 않는다.

물론 일생에 단 한번의 연간섭취한도에 이르는 양의 방사성물질을 섭취한 사람이 받을 수 있는 방사선량은, 법적인 방사선 피폭 제한치에 훨씬 못

미치게 된다.

**플루토늄 섭취에 따른 방사선량 평가**

반핵론자들이 말하는 플루토늄(Pu-239)에 대하여 ICRP-30의 모델에 따라 방사선량을 평가해 보자.

반핵주의자들은 종종 플루토늄을 지구상에서 가장 위험한 물질이라고 말한다.

지금까지 그들은 플루토늄 1g만 있어도 백만명에게 암이 생긴다고 주장해오고 있다.

이러한 주장의 타당성을 조사하기 위해 플루토늄 일백만 분의 1g이 사람의 몸 속에 들어갔을 때 과연 암을 일으킬 수 있는 것인지에 대한 계산을 해보자.

반핵론자들의 플루토늄에 대한 주

장을 손쉽게 반박할 수 있는 자료는 우선 핵무기실험 자료에서 얻을 수 있다.

2차 세계대전 이후 지상에서 왕성했던 핵무기실험 결과로 약 5~6톤 정도의 플루토늄이 온 세계의 대기 중으로 방출되었다.

이 플루토늄은 핵무기실험 중에 폭발하지 않고 그대로 남아서 공기 중에 흩어진 것이다.

이 플루토늄은 공기 중에서 지상으로 떨어지면서 지구상에 살고 있는 사람의 몸 속으로도 들어가게 된다.

사람의 몸 속에 들어간 플루토늄은 만약 반핵주의자들의 말 대로라면 약 5조 내지 6조명의 암 환자를 발생시켰어야 한다.

이는 지구상에 사는 모든 사람들이 최소한도 1,000번씩 암에 걸려 인류가 완전히 멸망했어야 한다는 결론에 이른다.

하지만 인류는 멀쩡하게 생존해 왔고 오히려 더 많은 사람들이 더 오래 살고 있지 않는가?

많은 양의 플루토늄이 사람 몸 속에 들어가지 않고 여기 저기 흩어져 땅 속에 묻혀 버렸기 때문이다.

따라서 플루토늄의 위험성을 논하고자 할 때는 반드시 플루토늄의 섭취, 즉 플루토늄이 얼마나 사람의 몸 속에 들어가 어떤 영향을 끼치는가에 대한 체계적인 조사가 필요하다.

플루토늄의 영향을 과학적으로 평가하기 위해서는 먼저 플루토늄의 화

학적 형태를 규명해야 한다.

일반 대중들이 플루토늄에 노출될 때는 산화플루토늄( $PuO_2$ )의 형태로 된다.

그리고 산화플루토늄이 몸 속에 들어갈 때는 대부분 코와 입으로 들어간다.

이것이 바로 국제방사선방어위원회에서 ICRP-30으로 플루토늄의 방사선 영향을 평가하는 기본 전제조건이다.

방사성물질은 몸 속에 들어가는 경로에 따라서 밖으로 다시 배설되는 비율이 달라진다.

예를 들어 산화플루토늄이 입을 통해 몸 속에 들어가면 99.999%가 다시 몸 밖으로 배설된다.

그리고 반대로 플루토늄을 물에 녹여 정맥주사를 통해 몸 속에 투입하면 몸 밖으로 배설되는 플루토늄의 양은 거의 없다.

따라서 플루토늄의 경우 그 방사선 영향은 섭취방법에 따라 크게 달라진다.

### 플루토늄의 연간섭취한도

플루토늄의 섭취에 따른 방사선 영향을 평가하기 위해서는 앞서 언급한 연간섭취한도(ALI)에 대해서 알아본다.

ICRP-30의 모델에 따라 계산한 결과, 산화플루토늄이 입을 통해 몸 속에 들어 갔을 경우 연간섭취한도는

200만Bq, 그리고 코를 통해 흡입되었을 경우에는 500Bq로 밝혀졌다.

플루토늄 백만분의 1g은 방사능으로 따져 약 2,330Bq이다.

따라서 플루토늄 백만분의 1g을 입으로 섭취했을 때는 연간섭취한도의 850분의 1 정도를 섭취한 셈이 되며, 같은 양을 코를 통해 호흡했을 경우에는 연간섭취한도의 약 5배 정도를 섭취한 셈이 된다.

앞에서 이미 언급한 대로 연간섭취한도는 일정량의 방사성물질이 50년 동안 매년 반복하여 몸 속에 들어갔을 때 받는 총 방사선량이 제한치를 넘지 않도록 하여 계산되었기 때문에, 플루토늄이 몸 속에 단 한 번만 연간섭취한도 만큼 들어갔을 때 몸이 받게 되는 방사선량은 제한치에 훨씬 미치지 못하게 된다.

### 호흡기를 통한 플루토늄의 1회 섭취

공기 속에 있는 플루토늄 백만분의 1g을 마실 때 받는 방사선량은 얼마일까?

그 사람은 플루토늄을 마신 첫 한해 동안에 전신에 1.8rem의 방사선을 받게 된다.

그리고는 몸 속에서 플루토늄이 서서히 빠져나감에 따라 몇 년 후에는 전신에 연간 0.3rem 정도의 방사선만 받게 된다.

그는 죽을 때까지 매년 이 정도의 방사선을 받는다.

플루토늄이 호흡기관을 통해 들어왔을 때 맨 처음에는 주로 폐 속에 머물면서 폐에 가장 큰 방사선피폭을 주게 된다.

첫 해에 폐가 받는 방사선은 약 15rem이나 된다.

폐가 받는 방사선은 이로부터 점차 줄어들어 약 10년 후가 되면 거의 무시할 정도로 적어진다.

그것은 폐에 있던 플루토늄이 몸의 다른 부분 즉 뼈나 간 속으로 옮겨가기 때문이다.

뼈로 옮겨간 플루토늄은 주로 뼈의 표면에 정착하면서 방사선을 낸다. 따라서 뼈의 표면이 받는 방사선은 점차 많아진다.

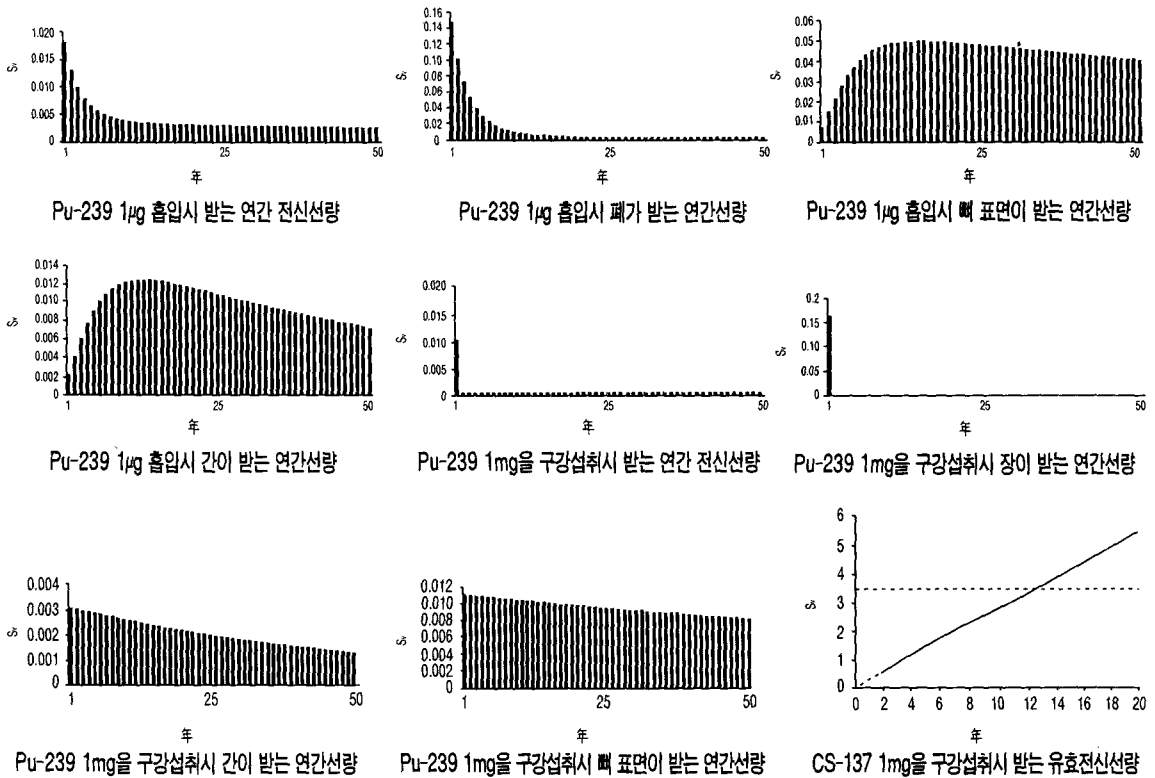
플루토늄이 호흡기관을 통해 몸 속에 들어간지 약 15년 동안은 뼈의 표면이 받는 방사선은 갈수록 커져서, 15년째는 뼈가 연간 약 5rem 정도의 방사선을 받게 된다.

폐에서 빠져나온 플루토늄이 뼈 다음으로 방사선피폭을 많이 주는 곳은 바로 간이다.

간이 한해 동안에 받는 방사선량의 최고치는 1.2rem 정도이다.

결론적으로 코를 통해 몸 속에 들어간 플루토늄이 한 해 동안에 줄 수 있는 방사선량은 전신에 최고 1.8rem, 그리고 폐에는 15rem, 간에는 1.2rem 정도가 된다.

ICRP에서 권고하는 방사선 작업자에 대한 한 해 동안의 방사선 피폭 제한치는 전신 5rem, 그리고 폐나 간 등 인체내의 각 장기별로는 50rem으로 되어 있다.



(그림) 체내로 유입된 플루토늄-239로부터 신체 각 기관이 받는 방사선량 평가결과

따라서 플루토늄 백만 분의 1g이 호흡기관을 통해서 사람의 몸 속에 들어 갔을 때는 절대로 ICRP의 방사선 피폭 제한치를 넘지 않는다는 것을 알 수 있다.

### 플루토늄의 구강 섭취

음식물 속에 있는 플루토늄 백만 분의 1g을 섭취했을 때는, 그 방사선 영향이 너무 적어 이야기할 필요조차 없다.

따라서 섭취하는 플루토늄 양을 1,000배 높여서 플루토늄 1mg(천분의 1g)을 섭취했을 때 나타나는 방사선 영향에 대해 알아보자.

플루토늄이 음식물을 통해 몸 속으로 들어 가면 위로 들어가서 창자를 통해 몸 밖으로 배설된다.

이때 플루토늄이 인체 각 기관에 주는 방사선 영향을 몸 전체가 받는 것으로 환산한 전신선량은, 플루토늄을 1mg 섭취한 첫 해에는 1rem, 그리고 그 다음 해부터는 매년 받는 방사선량이 너무 적어서 0.05rem 정도 밖에 받지 않는다.

그리고 섭취된 플루토늄이 몸 속의 주요 장기에 주는 영향을 살펴보면, 여러 기관 중에 작은 창자가 받는 영향이 가장 크다.

작은 창자는 플루토늄 1mg을 섭취한 첫 해에 16rem의 방사선을 받고, 그 이듬해부터는 거의 방사선을 받지 않는다.

작은 창자 다음으로 방사선을 많이 받는 기관은 간과 폐지만 방사선량이 너무 적어 이야기할 필요조차 없다.

이를 종합하면 플루토늄 백만 분의 1그램의 1천배인, 1 밀리그램을 섭취하더라도 ICRP에서 권고한 방사선 작업자에 대한 전신선량 제한치인 연간 5rem을 넘지 않고, 또 체내 각 기관에 대한 제한치인 연간 50rem을 넘지 않는다는 결론이 나온다.

### ICRP의 방사선 제한치

국제방사선방어위원회에서 권고하는 방사선 작업자에 대한 방사선 피폭 제한치는, 방사선 작업자가 작업 중에 받는 방사선으로 인한 위험도가, 다른 산업 현장에서 발생하는 산업재해로부터 일어나는 위험도보다 훨씬 더 적도록 설정된 것이다.

따라서 방사선 작업자가 전신에 받는 방사선량이 연간 5rem, 또는 신체 내부의 특정 장기가 받는 방사선량이 연간 50rem이 되더라도 이로 인해 암이 발생되어 죽을 확률은 거의 없는 것이다.

앞에서 플루토늄으로 인한 방사선량을 여러 모로 계산해 보았다.

즉 플루토늄 백만 분의 1g을 호흡기관을 통해 섭취했을 때 받는 방사선량, 그리고 플루토늄 일천 분의 1g을 음식물을 통해 섭취했을 때 받는 방사선량이 평가되었다.

그 결과, 어느 경우든지 플루토늄을

섭취한 사람의 전신이 받는 방사선량이 연간 5rem, 또는 신체내의 특정 장기가 받는 방사선량이 연간 50rem 이하로 평가되었다.

따라서 플루토늄 백만 분의 1g을 섭취한 사람이 암에 걸릴 확률은 거의 없고, 플루토늄 1g이 백만 명에게서 암을 일으킨다는 주장은 전혀 터무니 없는 것이다.

### 결론

반핵주의자들은 플루토늄이 극히 미량만 있어도 많은 사람들의 생명을 앗아가는 독극물인 것처럼 선전하고 있다.

그러나 앞에서 살펴본 바와 같이 플루토늄의 방사선 영향은 그렇게 심각한 것이 못된다.

오히려 일반 병원에서 환자를 치료하는데 많이 사용되는 방사성 세슘(Cs-137) 같은 것들이 훨씬 더 심각한 방사선장해를 일으킨다.

예를 들어 방사성 세슘 1천분의 1g을 음식물을 통해 섭취했다면, 그 사람은 엄청난 양의 방사선을 받아 며칠 이내에 사망하고 말 것이다.

이에 반해 앞서 계산한 대로 플루토늄 천분의 1g을 음식물을 통해 섭취했다면 그 방사선 영향은 거의 없다.

플루토늄은 1g만 있어도 백만명의 암 환자를 발생시키는 독극물이 아니다. ☹