

월성 부지 삼중수소 검출, 무엇이 문제인가



정용훈

한국과학기술원 원자력 및 양자공학과 교수

- KAIST 원자력 및 양자공학 박사
- WCU 미래형고속로 사업단장
- UAE 칼리파대학 겸직교수
- KAIST 원자력 및 양자공학과 교수

월성원전 부지 내 지하수에서 기준치 18배의 삼중수소가 검출되고, 실제로 훨씬 더 많은 방사능이 통제를 벗어나서 방출되고 있을 수 있다는 의혹을 보도하면서 이에 대한 논란이 뜨겁다. 주민들의 갑상선암 발병률이 2.5배 증가했다는 주장까지 더해져 주민건강에 대한 우려도 제기되었다. 결론적으로 주민들에게 미치는 건강 영향은 무시할 만하고, 18배 기준 초과라는 것도 기준을 잘못 적용한 것이며, 지하수가 아닌 배수관로 내의 물이었고, 누출이 아닌 연간 배출량의 1/20,000 정도의 미량이 지정된 배수구를 통해 농도 기준도 충분히 만족한 상태로 배출된 것이었다. 또한, 71만 베크렐/리터(Bq/L)의 물이 어디서 흘러들어온 것이 아닌 것은 확실하며, 실험 결과 공기 중 습분의 삼중수소에서 전이된 것으로 밝혀졌다.

삼중수소는 무엇?

월성 주민들에게 미치는 삼중수소의 영향은?

삼중수소는 수소보다 3배 무거운 수소로, 자연계에서 생성되기도 하고, 원자력발전소에서 생성되기도 한다. 자연계에서는 공기를 이루는 산소와 질소 등이 우주에서 날아온 고에너지 입자(우주방사선)에 맞아 깨지면서 파편을 형성하는데, 그 파편 중 하나가 삼중수소다. 연간 약 220g의 삼중수소가 자연에서 만들어지고, 비와 눈의 형태로 지상으로 내려온다. 보통 빗물 1L 당 1Bq 수준의 삼중수소가 포함되어 있어서 정상인의 체내에도 리터당 약 1Bq 내외의 삼중수소가 존재한다. 우리나라 육지에 연간 비와 눈으로 유입되는 자연생성 삼중수소의 양이 약 0.4g 내외가 된다. 월성원전에서 연간 배출하는 삼중수소의 양은 연간 대략 0.4g 정도로 이는 공교롭게도 우리나라 육지에 유입되는 자연생성 삼

중수소의 양과 비슷한 양이다.

월성은 중수로로서 경수로 대비 삼중수소 생성량이 많고 액체 및 기체 형태로 배출되는 삼중수소의 양도 상대적으로 많다. 따라서 주변 지역 주민에게 삼중수소가 검출될 수 있으며, 자연 생성 삼중수소에만 노출되는 다른 지역 주민 대비 체내 삼중수소 농도가 높을 수 있다. 이로 인해 항상 주민의 건강 영향은 주요한 이슈였으며, 지금까지 여러 차례 주민 건강에 대한 조사가 이루어져 왔다.

2015년에는 동국대학교, 조선대학교, 한국원자력의학원 팀이 월성원전 주변과 경주의 염색체 이상 빈도를 조사하였으며, 차이가 없음을 확인하였다.

민간환경감시기구의 요구로 한수원이 대학과 연구소에 의뢰하여 독립적으로 주민들의 삼중수소 피폭량을 두 차례 계측하였다. 월성 주민들의 소변 시료로 측정된 데이터를 살펴보면 1차 분석기간(2014. 6.~2015. 9.) 495명 대상 측정에서는 평균 5.5Bq/L, 최대 28.8Bq/L, **최대 피폭량은 연간 0.6마이크로시버트(μ Sv, 1/1,000,000Sv)**로, 법적 선량 기준인 연간 1mSv(=1,000 μ Sv) 대비 6/10,000으로 계측되었다. 2차 분석기간((2018. 11.~2020. 7.) 931명 대상 측정에서는 평균 3.1Bq/L, 최대 16.3Bq/L로 조사되어 최대피폭량은 연간 0.34 μ Sv로 법적 선량 기준 대비 3.4/10,000로 1차 대비 줄어든 것으로 계측되었다. 그러나 워낙 미미한 수준이라 줄어들었다는 것이 큰 의미가 있

지는 않다.

또한, 1회 촬영 시 50 μ Sv(1/1,000,000Sv)인 흉부 엑스레이 대비 1차 측정 피폭량은 1/83 수준, 2차 피폭 측정량은 1/147 정도로 극히 미미한 피폭량이다.

사람 몸에는 초당 7,000개의 방사선이 발생하고 있으며(7,000Bq, 70kg 기준), 배우자가 하루 8시간 옆에서 잔다면 1년간 약 20 μ Sv를 피폭시키는 것이다. 이 수준의 피폭은 무시할 수 있는 양이며, 당연히 암 발생을 증가시키지 않는다. 이 수준이 월성원전 삼중수소로 인한 최대 피폭량의 30배 수준이다.

음식으로 인한 피폭과 비교하면, 연간 바나나 6개를 먹을 경우 방사성 칼륨에 의해 0.6 μ Sv의 피폭이 발생하므로, 1차 조사 결과는 바나나 6개, 2차 조사 결과는 바나나 3.4개 섭취에 해당하는 피폭량이다. 커피 10잔 내외를 섭취할 때도 0.6 μ Sv 정도 피폭이 발생하므로, 연간 커피 10잔 내외 섭취 여부에 의한 방사선 피폭량의 차이 정도에 불과하다.

또한, 부산과 강원도의 자연방사선 피폭 차이가 연간 1,100 μ Sv이므로, 1,2차 최고치인 0.6 μ Sv는 부산과 강원도 차이의 1/1,800 수준으로 극히 미미하여 어떠한 영향도 기대할 수 없다. 월성 지역의 삼중수소에 의한 피폭 1,800년 누적량이 부산과 강원도 피폭 1년 누적량과 같은 것이다. 즉 부산에 사는 사람이 강원도에서 5시간 정도만 머물면 추가로 피폭되는 양과 같은 것이다. 강원도에서의 5시간이 위험하지 않다

면, $0.6\mu\text{Sv}$ 피폭도 위험하지 않은 것이고, $0.6\mu\text{Sv}$ Sv가 위험하다면 강원도에서는 5시간만 머물러도 위험한 것이다.

바나나 6개, 커피 10잔에 의한 피폭량이 암 발생에 영향을 주지 않는다면, 월성 삼중수소는 암 발생에 영향을 미치지 않는 것이고, 월성 삼중수소로 암 발생 영향이 있다면, 바나나 6개와 커피 10잔 섭취만으로도 암 발생 영향이 있는 것이다. 참고로 IAEA에서는 연간 $10\mu\text{Sv}$ 이하의 피폭에 해당하면 방사성 물질 관리에서 면제를 해주고 있다. 연간 $0.6\mu\text{Sv}$ 라면 이보다 훨씬 낮은 수준에 해당한다. 그리고, 일각에서 주장하는 삼중수소만의 특별한 위험(유기삼중수소, 체내 장기 잔류)은 이미 기존의 선량평가에 모두 포함되어 있으며, 특별히 큰 영향도 아닌 것이다. 장기체류, 핵종변환 등을 이유로 삼중수소가 특별히 위험하다는 주장은 캐나다의 규제기관과 영국의 건강보호국의 심도있는 검토를 거쳐 근거가 없음이 이미 드러난 것들이다.

피폭이 무시할만한데 갑상선암은 2.5배?

이번 월성 삼중수소 이슈와 연관 지어서 원전 때문에 갑상선암 발병률이 2.5배나 늘었다고 주장하기도 한다. 서울대학교의 역학조사(2011) 결과, 원전 주변 지역 여성의 갑상선암 발병률이 원거리 대조군보다 2.5배 높게 나온 결과를 가지고 갑상선암 발생의 원인이 원전이라고 주장하는 것이다. 그러나 인과관계를 따져보면, 이는

원자력발전소에서 배출되는 방사성 물질에 의한 암 발병 증가라고 할 수 없다.

검진 효과와 비교 대상 선택의 문제로 인한 것으로 볼 수 있다. 먼저 피폭 없이 발병 없다는 것은 자명한 사실이다. 원전 주변 피폭량이 무시할 수준으로 미미한데 암 발생이 있다는 것은 인과관계 자체가 성립이 안 되는 것이다. 원전 피폭량 이상에서도 발견되지 않는 인과관계가 원전 피폭량 수준에서 발견되었다는 것, 그것도 2.5배라는 것은 처음부터 잘못된 주장이다. 게다가 방사선 피폭에 의한 것이라면 다른 암도 같이 증가해야 하며, 남성의 갑상선암도 같이 증가해야 하는데 그렇지 않았다. 여성의 갑상선암만 유독 2.5배였다.

방사선이 영향이라면 다른 암도 증가해야 하나 그렇지 않다. 원전 근처에 오래살면 살수록 증가해야 하는데 그렇지 않다. 게다가 비교대상을 삼은 지역들이 전국 평균보다 낮은 발병률을 보인 지자체였기에 비교대상 선택의 오류도 있었다.

따라서 원전 주변 지역 여성의 갑상선암 증가는 원전에 의한 방사선 피폭이 원인이 아니라, 검진 증가, 비교대상 선택 오류 등에 의한 것으로 판단된다. 보고서에 인과성을 시사하는 증거를 찾을 수 없다고 명시했지만, 이를 인용하면서 2.5배 증가라는 것을 기정사실로 하면서 인과성을 주장하고 있다. 원인(유의미한 방사선 피폭) 없이 결과(의미 있는 갑상선암 2.5배 증가)가 발생할 수는 없는 것이다.

10여 건의 국제 연구 결론도 연관성이 없다는 결론이고, 미국의 핵시설 및 원자력발전소 65개 역학조사와 벨기에 4개 원전 역학조사 결과에서도 원자력 시설과 암 발생에는 관련성이 없다는 결론을 얻었다. 관련한 소송에서도 인과관계는 인정되지 않았다. 원전에 의한 방사선 피폭과 갑상선암은 관련이 없다.

삼중수소는 특별히 위험하다?

삼중수소의 특별위험론(삼중수소는 몸에 달라붙고, DNA를 구성하여 특별히 위험하다)을 이야기하는 몇몇 단체와 개인의 주장의 근거가 되는 ECRR(The European Committee on Radiation Risk)¹¹의 보고서를 영국 건강보호청(HSE, Health and Safety Executive)이 검토했다. ECRR은 국제방사선방어위원회(ICRP, International Commission on Radiological Protection)가 1로 평가하는 삼중수소 위험이 사실 1,000 수준이 된다고 자의적으로 주장하는데, 건강보호청 검토 결과 1 근처이거나 오히려 더 작다는 것이다.

주요 내용을 보면 다음과 같다. 영국 방사선방호국(NRPB, National Radiological Protection Board - 현재 HSE로 개편)이 심층 검토한 결과, ECRR의 주장은 자의적이며, 타당한 과학적 근

거가 없다고 결론 내렸다. 또한, ECRR이 ICRP의 모델을 오해하고 있는 부분이 크다고 했다. 즉, ECRR이 ICRP 모델을 이해하지 못하거나, ECRR의 주장이 자기 주장과도 서로 불일치하거나, 자기주장의 근거가 없거나 하다는 것이다. 또한, ICRP의 권고사항은 보호 기준을 세우기 위한 제대로 된 근거를 제공하고, ICRP는 내부 피폭 방사성 물질(internal emitter)에 대해서는 잘 이해하고 있으며, 영국 방사선방호국은 몇몇의 경우 ICRP가 과대평가한 것으로 결론을 내렸다. ICRP 평가가 과소평가는커녕 오히려 과대평가라는 것이고, ICRP가 충분히 보수적인 기준을 가지고 있다는 것이다. 현재도 ECRR의 기준을 적용하는 나라가 없음에도 원자력의 위험성을 주장하는 사람들이 근거자료로 자주 인용한다.

삼중수소는 우리 체내에서 흡수되고, 미량이 치환되며, 결국 우리 몸을 빠져나오고 배설(소대변, 땀)되는 과정이 잘 알려져 있으며, 100이 들어가서 50이 되고, 25가 되고, 12.5가 되는데 걸리는 시간이 각각 10일(우리나라 원전 종사자 조사로는 10일보다 짧은 것으로 측정됨. 그러나 길게 가정하면 보수적으로 평가하는 것이므로 그대로 수용)인 것이다. 삼중수소가 특별한 마법을 부리지는 못한다.

같은 1Bq을 섭취했을 때 우리 몸에 미치는 영

¹¹ ECRR(the European Committee on Radiation Risk)은 이름을 보면 공식기구처럼 보이지만, 영국 건강보호청의 표현을 그대로 가져온다면 "a self-styled organisation with no formal links to official bodies"이다. 즉, 공식적인 기구로서의 요건을 전혀 갖추지 못한 하나의 임의조직이며, 이들의 주장을 근거로 보호기준을 채택하고 있는 국가는 없다.

향(시버트, Sv)을 비교해보면 대부분의 방사성 핵종들이 삼중수소보다 더 큰 영향을 준다는 것을 알 수 있다. 바나나, 커피, 쌀, 콩 등 거의 모든

〈표 1〉 핵종별 선량환산인자 및 삼중수소대비 환산인자비

핵종	Sv/Bq	H3(삼중수소) 대비
H-3	1.80E-11	1
K-40	6.20E-09	344
Sr-90	2.80E-08	1,556
I-131	2.20E-08	1,222
Cs-137	1.30E-08	722
Po-210	1.20E-06	66,667
Th-232	2.30E-07	12,778
Ra-226	2.80E-07	15,556
Ra-228	6.90E-07	38,333
U-238	4.50E-08	2,500
Pu-239	2.50E-07	13,889

음식에 포함된 칼륨-40은 삼중수소 대비 344배 큰 영향을 주며, 해산물에 많이 포함된 폴로늄-210은 무려 66,667배 더 큰 영향을 끼친다.

우리가 음식으로부터 받는 피폭량은 연간 $300\mu\text{Sv}$ 내외다. 여기에는 해산물의 폴로늄 영향이 제대로 포함되지 않아 실제로는 이보다 훨씬 더 큰 피폭이 발생하게 된다. 멸치 1g 섭취 시 피폭량이 $0.5\mu\text{Sv}$ 정도이므로, 삼중수소로 인한 연간 최대피폭 $0.6\mu\text{Sv}$ 에 과다한 의미를 부여하려는 것은 과학적으로도 사회적으로도 전혀 바람직하지 않으며, 불필요한 공포만 유발할 뿐이다.

현재 피폭량은 전혀 우려할 사항이 아니다. 주민 피폭량이 의미 있게 증가하고 있지도 않고, 오히려 줄어들고 있다. 2분의 1로 줄었지만 그

렇다고 더 안전해졌다고 할 수는 없다. 안전했는데($0.6\mu\text{Sv}/\text{y}$) 지금도 안전($0.34\mu\text{Sv}/\text{y}$)한 것이다.

그런데도 방송에서는 동물실험에서 삼중수소에 의해 암이 발생하고, 심하면 생명을 앗아갈 수 있는 것으로 밝혀졌다고 위험성을 주장한다. 맞다. 실험실에서 대량의 삼중수소를 피폭하면 암이 발생할 수 있다. 그러나 소량에서는 아니다. KTV에 나온 모 인사의 틀린 주장처럼, 삼중수소 1g이 주민 몸에서 나온다는 것이 사실이라면 확실한 치사량이므로 그 사람은 살 수 없다. 그러나 극소량에서는 전혀 영향을 찾을 수 없다. 대량 피폭의 동물실험을 사람에게 대한 극미량 피폭에 가져와서 위험을 그대로 주장하는 것은 전혀 타당하지 않다.

‘과다 피폭될 경우 사망할 수도 있는 방사성 물질 극미량 검출’이라는 문구에서 전문가는 뒷부분을 보고 안심하지만, 대부분의 국민은 앞부분에 공포를 느낀다. 정확한 의미가 전달될 수 있도록 해야 한다. ‘의미 없는 수준의 방사성 물질 검출’이 정확한 의미전달을 위한 메시지라고 할 수 있다.

사용후핵연료 저장조에는 어떤 문제가?

지하수에서 삼중수소가 발견된다는 것은 문제가 아니다. 고농도의 삼중수소에 양도 많아 환경으로의 배출량이 많아질 때 문제가 되는 것이다. 삼중수소가 함유된 물을 담고 있는 수조에는 누

수를 막기 위한 막이 설치되어 있다. 이를 에폭 시라이너라고 부르는데, 여기에 틈이 발생하고 콘크리트 구조물에도 갈라진 곳이 있으면 물이 밖으로 흘러나갈 수 있다. 수조 밖에서 물을 모아서 검사하여 수조 내에만 존재하는 방사성 물질이 검출되면 누수를 쉽게 확인할 수 있다.

콘크리트에 갈라진 틈이 없는 경우에도 적은 양의 삼중수소가 물이 스미듯이(확산) 이동할 수 있다. 이러한 구조이기 때문에 사용후핵연료 저장조 하부에는 스며 나오거나 누설되는 물을 수집하고 감시하기 위해 그릇을 만들어 두었는데, 이를 차수벽과 차수막이라고 부른다. 차수막도 누설 가능성을 고려하여 그 하부에는 물을 수집하는 공간을 또 두고 있다. 말하자면 위로부터 상층 사용후핵연료 저장조, 중층 차수막, 하층 집수정으로 구성되어 있어 1층과 2층의 물을 모아 누설 여부를 판단하고, 농도와 양을 측정후 배수관로를 통해 보내서 최종적으로 희석하여 농도를 극도로 떨어뜨려 외부로 배출한다. 배출하는 물의 농도는 별도로 측정하고 있다.

따라서 사용후핵연료 저장조의 물 중 일부가 확산이나 누설을 통해 아래로 모이고 수집되어 배출되는 것은 정상적인 관리과정이라고 할 수 있다. 문제는 누설이 있는데 이를 수리하지 못하여 누설량이 늘어나고, 급기야 배출되는 방사성 물질의 양이 상당량이 되는 경우 문제가 되는 것인데, 현재 배출되는 양을 보면 농도비 기준으로 1%에도 미치지 못하고 있어 관리에는 전혀 문제가 없는 것으로 판단된다. 즉, 현재 누설은

관리 기준보다 아주 낮은 수준이고, 환경에 미치는 영향 또한, 무시할 수준이며, 늘어나고 있는 경향도 없다.

1호기 사용후핵연료 저장조 하부의 차수막을 격납건물여과배기설치(2012. 6.~2013. 4.) 공사 중 파일을 박는 과정에서 관통한 것으로 추정되어 현재 보수공사 중이다. 차수막은 파손된 것으로 추정되나, 현재 집수조에 수집되는 물에서 사용후핵연료 저장조 누설 시 계측되는 감마핵종이 미검출되어 사용후핵연료 저장조 누설은 없는 것으로 확인되고 있다. 차수막이 파손된 것은 시공 잘못이다. 시정되어야 했고, 늦게나마 시정하고 있다. 그렇다고 이것이 바로 주민 안전 문제로 직결되는 것은 아니니 비약적 결말도 출은 지양해야 한다. 참고로 배수로 집수정에서 71만3천 Bq/L의 삼중수소가 회수된 곳은 1호기가 아니라 3호기로, 차수막 관통과 배수로의 삼중수소수 문제는 서로 관련성 없으나 많이 혼동하고 있기도 하다.

기준치 18배 초과된 지하수가 누출되었다?

수집된 삼중수소수는 모여서 배수관로를 통해 흘러간다. 중간에 여러 개의 집수정이 있다. 이 집수정 중 2번째 집수정에서 71만3천 Bq/L의 물이 발견되었고, 이것은 배출기준농도인 4만 Bq/L 대비 18배 수준으로 배출기준 위반이었다. 그러나 이것은 기준을 잘못 적용한 것이다. 마치 아직 집안 차고에 주차된 차에 주차위



반 딱지를 발부하는 것과 같다. 발전소 내부의 액체폐기물 관리를 위한 장소에 있는 물에 배출되는 지점의 농도 기준을 적용한 것이다.

집수정에 고인 물은 그대로 두어도 물량이 많아지면 흘러서 아래로 이동하고, 최종배출지점까지 가면 거기서 농도가 계측되고 초당 35t에 이르는 희석수에 희석되어 배출되게 된다.

이때 희석 후 농도가 4만 Bq/L를 초과하면 안 된다는 것이 관리기준이다. 문제가 된 물은 전량 회수해서 희석 후 배출되었다. 희석되어 배출될 때는 농도가 10~20Bq/L로 기준치 40,000Bq/L 대비 아주 낮은 수준이었다. 따라서 기준을 만족한 배출이었고, 배출기준 불만족은 틀린 이야기다. 발견된 물은 아직 배수관로 상에 있는 물로서 발전소 외부로 나가지 않은 것이다.

여기에 발전소 외부로 나가는 농도 기준을 적용한 것은 틀린 적용이다. 월성원전에서 연간 배출하는 액체폐기물의 양이 30조 Bq 수준이고, 집수조에서 회수된 물의 삼중수소 농도가 71만 3천 Bq이므로 회수된 물을 2t 정도로 가정해도 그 양이 삼중수소 약 14억 Bq이다. 이는 연간

배출량의 0.005% 정도에 해당하는 작은 양이다. 연간 배출량의 0.005%에 불과한 양을 농도 기준에 맞춰 배출했는데 기준치 18배 초과라고 잘못 주장한 것이다.

배수구 공기 중에 있던 삼중수소가 소량의 물로 전이되면서 농도가 높아진 것으로 실험결과 나왔기 때문에 원인을 모르는 내부 누설로 인한 고농도 형성도 아닌 것으로 판단된다. 사용후핵연료 저장조 지하에서 유입되는 물의 농도가 수천 Bq/L 수준이므로 외부 유입에 의한 고농도는 아닌 것이다. 역설적이지만 고여 있는 물의 양이 적었기 때문에 농도가 높아질 수 있었던 것이다. 배수로 내부이므로 배출기준과 비교하면 안되고, 총량 측면에서도 미미한 수준의 삼중수소 정상 배출이었다고 할 수 있다.

지하에 있는 물이므로 지하수로 부를 수 있지만, 정확히는 지하 배수로에 고여 있던 물이었다. 지하수를 통해 대량의 삼중수소가 환경으로 확산하고 있다고 잘못 받아들일 수 있는 표현이다. **KMIF**