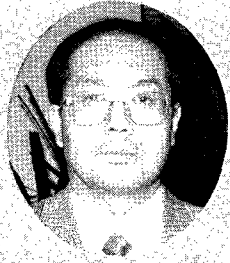


## 重水爐의 三重水素管理



송 명 재

한전 기술연구원 원자력연구실 책임연구원

**지**구상에 존재하고 있는 가장 가벼운 원소인 수소는 엄밀히 세 가지 종류가 있다. 즉, 수소 원자핵 속에 양성자 한개만 존재하는 보통의 수소, 그리고 양성자와 중성자가 각기 한개씩 있는 중수소, 마지막으로 양성자 한개와 중성자 두개가 들어있는 삼중수소가 바로 그것이다. 이 세 가지의 수소는 서로 성질은 비슷하지만 그 무게가 중수소는 보통 수소의 대략 2배, 삼중수소는 수소 무게의

3배 정도로 다를 뿐이다.

자연에 존재하는 모든 종류의 수소 중 보통의 수소가 차지하는 비율은 약 99.985%이고 0.015%만이 중수소가 차지한다. 그리고 삼중수소가 차지하는 비율은 너무 적어 무시할 수 있을 정도이다. 이렇게 자연 속의 존재 비율이 거의 무시되는 삼중수소가 최근 많은 관심을 끌고 있다.

삼중수소가 세인의 관심을 끌고 있는 이유는 바로 수소나 중수소와는 달리 삼중수소에서는 배

타선이라는 방사선이 나오기 때문이다. 그리고 삼중수소는 원자 폭탄 실험, 또는 원자력발전소 운전시에 인위적으로 대량 생산되기 때문이다. 그동안 자연에 존재하는 삼중수소의 주 생산원의 하나였던 원폭실험이 요즈음에 들어 현격하게 줄어들었기 때문에 큰 걱정거리 하나는 없어졌으나, 아직도 전 세계적으로 많은 원자력발전소가 운전되고 있어 삼중수소는 끊임없이 만들어지고 있다.

원자력발전소 중 특히 중수(중수소로 구성된 물)를 사용하는 중수로형 원자력발전소에서는 더욱더 많은 양의 삼중수소가 생긴다.

국내의 월성 원자력 1호기가 중수로형 원자로이고, 또한 같은 형의 원자로인 월성 2호기 및 3, 4호기가 건설중에 있어 월성 원자력발전소의 삼중수소에 대한 관심이 점차 고조되고 있다.

이에 따라 삼중수소의 특성과 삼중수소가 인체와 환경에 미치는 영향을 살펴보고 월성원전의 삼중수소가 어떻게 관리되고 있으며 문제점은 없지 않은가 하는 측면을 고찰해 보고자 한다.

### 삼중수소 특성과 인체 영향

삼중수소는 1939년에 발견된 수소동위원소의 하나로 방사선을 방출하면서 12.4년의 반감기를 가지고 붕괴한다. 삼중수소는 감마방사선을 방출하지 않고 에너

지가 매우 약한 베타방사선만을 방출하기 때문에 방사선의 영향이 다른 방사성핵종에 의한 영향에 비해 훨씬 적은편이다. 삼중수소에서 나오는 베타방사선은 사람의 피부도 뚫지 못할 정도로 약하여 삼중수소가 사람의 몸 밖에 있을 때는 방사선 피폭문제가 거의 제기되지 않는다.

그러나 삼중수소는 공기나 물 또는 음식물에 섞여 사람의 몸 속에 들어갈 수 있다. 또한 사람의 피부에 있는 땀구멍 등을 통해서도 몸 속에 들어간다. 일단 사람의 몸 속에 들어간 삼중수소는 비록 에너지는 약하지만 삼중수소의 베타방사선이 가지는 모든 에너지를 우리 몸에 전달하게 된다. 따라서 많은 양의 삼중수소가 우리 몸 속에 축적되게 되면 상당한 양의 방사선을 받을 수 있다. 그러므로 삼중수소에 의한 방사선영향은 주로 사람의 몸 속에 얼마만큼의 삼중수소가 들어갔는가에 따라 결정된다.

삼중수소는 자연계에 삼중수소 가스형태보다는 삼중수소화된 물 또는 수증기 상태로 존재한다. 즉 물이나 수증기의 분자 한개를 이루고 있는 두개의 수소와 산소 한개 대신에 수소 한개, 삼중수소 한개 및 산소 한개(HTO)로 존재한다. 따라서 자연계에서 삼중수소의 거동상태를 살펴보고 싶으면 물의 이동경로를 따져보면 쉽게 이해할 수 있다.

물 속에 섞여 생물체의 체내에

들어간 삼중수소는 생물체의 체액에 머물러 있거나 생물체 조직의 일부로 전환되거나 한다. 즉, 삼중수소가 사람의 몸 속에 들어가면 몸 속의 혈액이나 기타 체액 속에 있다가 소변이나 땀을 통해 다시 밖으로 배출된다.

그리고 극히 일부는 사람 몸의 세포를 이루고 있는 물질인 단백질이나 지방질 등에 있는 수소 대신 인체조직의 일부가 되기도 한다. 인체 조직 세포도 수명이 다하면 새로운 세포로 대체되므로 이 때 조직의 일부를 이루던 삼중수소도 함께 몸 밖으로 빠져나가게 된다.

삼중수소의 방사선 반감기는 약 12년이다. 그러나 사람의 몸 속에 들어간 삼중수소는 이보다 훨씬 더 빠른 속도로 우리 몸에서 제거된다. 삼중수소는 약 80% 정도가 우리 몸의 체액 속에 들어가게 되는데 이 체액 속의 삼중수소는 약 열흘 정도면 절반가량이 몸 밖으로 배출된다. 그리고 몸속에 들어간 삼중수소의 약 20% 정도는 몸을 구성하고 있는 세포조직에 붙어있으면서 약 1~2년이 지나야 몸 밖으로 절반정도 배설된다.

그러므로 삼중수소 자체의 방사성 반감기는 상당히 길다 할지라도 삼중수소가 사람의 몸 속에 머무는 시간이 짧고, 또한 삼중수소의 방사선이 가지는 에너지가 매우 작아 삼중수소의 방사선 영향은 다른 방사성물질에 비해 훨

씬 적은 편이다.

이는 다른 방사성물질과 법적인 허용한도를 서로 비교해 보면 쉽게 알 수 있다. 예를 들어 방사성물질의 공기 중 허용한도를 보면 삼중수소의 경우는 코발트나 세슘 또는 방사성 옥소와 같은 대부분의 방사성물질이 가지는 허용한도보다 약 500배 정도가 높다. 이는 쉽게 말해서 방사선 피폭측면에서 삼중수소는 다른 방사성물질보다 약 500배 정도 안전하다는 이야기가 된다.

### 원전에서의 삼중수소 생성

현재 지구상에서 가장 큰 삼중수소의 생성원은 바로 원자력발전소이다. 원전에서는 원자연료로 사용하고 있는 우라늄이 핵분열을 일으킬 때 많은 양의 삼중수소를 만들어 낸다. 이는 경수로형 원자력발전소와 중수로형 원자력발전소 모두에서 일어나는 현상이다. 그러나 이 삼중수소는 모두 원자연료의 피복관 안에 갇혀 있고 계통 내로 유출은 되지 않는다. 따라서 연료에 이상이 생기지 않거나 사용후연료를 처리하지 않고 그대로 두면 삼중수소는 모두 원자연료다발 안에서 점차 붕괴되어 없어진다.

하지만 원자연료를 재처리하기 위해 절단하여 녹이게 되면 안에 갇혀 있던 삼중수소가 모두 밖으로 나온다. 원자연료 재처리공장에서 나오는 삼중수소는 모두 이

러한 연유로 해서 나온다. 우리나라의 경우 국내에 사용후연료 재처리시설이 없기 때문에 원전의 원자연료에서 생긴 삼중수소가 환경에 유출될 염려는 없다.

경수로형 원전과 중수로형 원전 공히 삼중수소를 만들어내는 또 하나의 경로가 있다. 원자로 냉각재 속에 들어 있는 붕소라는 물질이 원자연료에서 발생하는 중성자와 반응을 일으켜 삼중수소를 만든다. 이 때 생기는 삼중수소의 양은 원자연료 속에서 생기는 삼중수소의 약 20분의 1 정도 밖에 안되는 적은 양이다. 하지만 원자연료 속에서 생긴 삼중수소는 연료봉 속에 갇혀 있는데 반해서 붕소로부터 생긴 삼중수소는 냉각재 속에 섞여 1차계통 내 배관을 따라 이동한다.

따라서 냉각재가 누설되는 곳이나 냉각재의 수처리계통을 통해서 삼중수소가 계통 밖으로 빠져 나올 수 있다. 그러므로 원자력발전소, 특히 경수로형 원자력발전소에서 유출되는 삼중수소의 대부분은 냉각재 속의 붕소로부터 생긴 것이다.

중수로형 원자력발전소에는 삼중수소의 발생원이 또 하나 있다. 바로 중수로형 원자로의 냉각재나 감속재로 쓰이는 중수가 핵분열 시에 나오는 중성자에 의해서 삼중수소로 변환되는 것이다. 보통의 수소는 중성자를 받아서 삼중수소가 되기 어렵지만 중수소는 쉽게 삼중수소로 변한다. 중

수로형 원자력발전소에서 중수에 의해서 생성되는 삼중수소의 양은 원자연료 속에서 핵분열 시에 만들어지는 삼중수소 양의 약 100배 정도로 많다.

중수로형은 경수로형과는 달리 냉각재와 감속재가 완전히 분리되어 있다. 냉각재는 원자로와 증기발생기 사이의 폐쇄회로를 계속 순환하기 때문에 중수가 원자로 속에 머무는 시간은 상대적으로 짧다. 이에 반해 감속재는 원자로를 둘러싸고 있는 커다란 수조 안에 있어, 이 속에 있는 중수는 항상 핵분열 시 발생하는 중성자와 충돌할 기회를 준다. 따라서 냉각재 속에 있는 중수에서 생성되는 삼중수소의 양보다는 감속재에서 생성되는 삼중수소의 양이 훨씬 더 많다.

중수로의 냉각재나 감속재에서 생기는 삼중수소의 양은 원자력발전소의 운전이력에 따라 크게 달라진다. 즉, 운전 초기에는 냉각재나 감속재 속의 삼중수소 농도가 매우 낮지만 운전년수가 증가함에 따라 삼중수소의 농도가 점점 높아진다. 특히 감속재 속의 삼중수소 농도증가율은 냉각재 속의 삼중수소 농도 증가율에 비해 훨씬 더 급속히 커진다. 중수로를 30년 운전한 후의 감속재 속의 삼중수소 농도는 냉각재 속보다 약 30~40배 가량 높아진다.

중수로의 냉각재와 감속재에서 생기는 삼중수소의 총 방사능은

수명기간 평균하여 600MWe급 원자력발전소인 경우 연간 약 130만 큐리 정도가 된다. 이는 같은 용량의 경수로형 원자력발전소에서 연간 생성되는 삼중수소 총 방사능량의 약 100배 가량되는 셈이다. 그럼에도 발전소에서 방출되는 삼중수소의 양은 중수로형 경우가 경수로형 경우보다 100배 가량 높지는 않다.

운전이력이 비슷한 우리나라의 고리 원자력발전소에서 매년 방출되는 삼중수소양에 비해 월성 원자력발전소에서 방출되는 삼중수소의 양은 약 14배 정도 밖에 되지 않는다. 그 이유는 비록 중수로에서는 많은 양의 삼중수소가 생성되기는 하나 삼중수소 관리가 철저히 되어 방출량은 생성량에 비례하여 늘어나지 않기 때문이다.

발전소에서 매년 방출되는 기체, 액체 형태의 방사성폐기물 속에 있는 각종 방사성핵종 중 삼중수소가 차지하고 있는 비율은 경수로형 원전과 중수로형 원전 공히 높다. 즉, 경수로형 원전에서 매년 방출되는 방사성핵종의 총 방사능량의 약 70% 내외는 삼중수소의 방사능이고 중수로에서는 약 80~90% 정도가 삼중수소이다.

### 월성원전의 삼중수소 관리

같은 용량의 경수로에 비해 삼중수소의 생성량은 약 100배, 그

리고 방사성폐기물로 방출하는 삼중수소 방사능의 양은 약 10여 배에 달하는 중수로에서는 삼중수소를 어떻게 관리하고 있을까? 중수로에서 삼중수소의 주 생성원은 감속재이고 냉각재 내의 삼중수소 양은 감속재에 있는 양보다 훨씬 적다고 하였다.

운전을 시작한지 약 10년 정도가 되는 월성 원자력발전소의 경우, 소내 삼중수소의 96% 이상은 감속재 속에 있고 냉각재 속에 있는 삼중수소의 방사능은 전체의 4%도 안된다. 발전소의 운전이력이 길면 길수록 감속재 속의 삼중수소 양은 상대적으로 더욱 더 커진다.

생성된 삼중수소의 거의 대부분은 계통 내에 축적되어 있지만 각종 밸브 및 계통의 누수 또는 정화계통 운전 등으로 인해 삼중수소가 계통의 중수와 함께 누설될 수 있다. 즉 냉각재나 감속재의 누설이 있는 곳에는 항상 삼중수소의 누설이 동반된다. 따라서 중수로형 원자력발전소에는 냉각재나 감속재의 누설을 조기에 감지하는 설비와 누설된 중수를 회수하는 설비가 갖추어져 있다. 누설된 중수를 효과적으로 회수하는 방안이 바로 삼중수소를 관리하는 방법이 되는 셈이다.

삼중수소 관리는 냉각재에 대한 관리와 감속재에 대한 관리로 구분하여 시행하는 것이 좋다. 왜냐하면 감속재 중의 삼중수소 농도와 냉각재 중의 삼중수소 농도

는 현격한 차이를 보이기 때문에 이들이 서로 섞여져서 냉각재 속의 삼중수소 농도를 높이지 않도록 해야 하기 때문이다.

한가지 다행인 것은 삼중수소의 농도가 높은 감속재의 경우 운전압력이 대기압 정도로 냉각재의 압력에 비해 훨씬 낮고, 또한 감속재의 유동이 거의 없는 셈이어서 감속재계통 밖으로의 중수누설량이 매우 적다는 사실이다.

먼저 기체상 중수누설을 탐지하기 위한 설비는 증기상 상태의 중수누설 감시기와 공기중 삼중수소 고정감시기가 있다. 이들 감시기는 원자로 건물 및 보조 건물의 각 지역과 건물의 환기계통에 설치되어 있어 기체상태의 중수 또는 삼중수소를 감시한다. 액체상의 중수도 중수재고량 변화점검 또는 원자로 건물 및 보조 건물에 설치되어 있는 비틀(Bettle) 감시기를 이용해서 누설을 탐지한다.

계통으로부터의 중수누설이 탐지되면 즉시 이를 회수하기 위한 설비가 가동된다. 누설된 중수의 회수설비는 기체상태의 누설중수 회수설비와 액체 중수 회수설비로 나눌 수 있다. 그 중 기체 상태의 중수증기 회수설비의 역할은 매우 중요하다. 중수증기 회수설비는 가장 증기누설 의심이 가는 지역, 즉 핵연료 장전기 지역, 감속재 취급 설비실이나 증기 발생기실 등에 설치된다.

이곳에 설치된 중수증기 회수설비는 공기중에 포함된 수분을 건조기를 이용하여 회수하는 원리로 되어 있다. 공기중 수분이 회수될 때 중수소는 물론 삼중수소까지 모두 회수된다. 액체상태로 누설된 중수는 낮은 고도에 위치한 중수 수집탱크에 중력에 의해서 회수된다. 회수된 중수는 감속재 중수 공급계통과 냉각재 중수 공급계통으로 보내진다.

냉각재와 감속재의 중수 공급계통이란 발전소 운전중 계통에서 누설되어 회수된 순도가 낮은 중수를 다시 쓸 수 있도록 중수의 순도를 99.8% 이상 높여주는 계통이다. 이 계통의 기본 원리는 경수와 중수의 끓는점 차이를 이용한 증류공정으로 경수를 제거하며 중수만 모으는 것이다. 중수 공급계통에서 나온 순도 높은 중수 속에는 삼중수소가 포함되어 있다. 그리고 이 삼중수소를 포함하는 중수는 중수공급탱크로 보내어져 다시 계통으로 주입된다.

따라서 감속재 및 냉각재 계통에서 흘러나온 삼중수소는 거의 대부분이 다시 회수되어 계통 속으로 되돌아 간다. 그리고 극히 일부분만이 기체 및 액체 폐기물로 버려진다. 월성 1호기의 과거 10년간 운전이력을 살펴보면 연평균 감속재 및 냉각재계통에서 흘러나온 중수의 양은 약 17톤 정도이며 이 중 약 13톤 정도가 중수 회수설비에 의해 회수되어 다시 계통속으로 들어간다.

**표 1. 600MW급 중수형 원자력발전소의 중수관리**

(단위: 톤/년)

구분	원전	양발스	포인트레프로	젠틸리-2	월성	4기 평균
연평균 중수 누설량		14.7	13.4	23.9	30.9	20.7
연평균 중수 회수량		11.4	9.4	19.1	26.9	16.7
연평균 중수 손실량		3.3	4.0	4.8	4.0	4.0

**표 2. 중수형 원자력발전소의 연평균(89, 90, 91) 삼중수소 방출량**

(단위: 큐리/년)

발전소	월성 (600MW)	포인트레프로 (600MW)	피커링 A (호기당: 500MW)	브루스 A (호기당: 800MW)	평균
삼중수소양					
기체	6,426	6,830	5,503	11,553	7,578
액체	1,850	5,670	3,082	13,666	6,088
합계	8,276	12,500	8,585	25,303	13,600

그리고 나머지 4톤 정도가 대부분 기체, 액체 폐기물 속에 섞여 방출되는 셈이다. 폐기물로 손실되는 중수소의 90% 이상(무게비)은 냉각재 계통에서 나온 것이고, 5~10% 정도만이 감속재 계통에서 누설된 중수이다. 그러나 감속재 속의 삼중수소 농도가 냉각재 속의 삼중수소 농도에 비해 월등히 높기 때문에 삼중수소의 방사능으로 따지면 폐기물 속에 섞여 방출된 삼중수소 방사능의 80% 정도는 감속재 계통의 중수에서 생긴 삼중수소라 할 수 있다.

중수로형 원자력발전소의 탄생지인 캐나다에는 많은 수의 중수로가 운전되고 있다. 가장 오래된 원자력발전소인 피커링 원자력발

전단지 내에는 피커링A 원자력발전소 및 피커링B 원자력발전소가 있으며, 이들은 각기 500MWe의 전기를 생산할 수 있는 원자로를 4기씩 가지고 있다.

### 캐나다 중수로와의 비교

브루스 원자력발전소에도 마찬가지로 각기 원자로 4기씩이 내장된 브루스A 원자력발전소와 브루스B 원자력발전소가 있다. 이 밖에도 캐나다에는 달링톤 원자력발전단지가 있으며, 또 우리나라의 월성 1호기와 동일하고 운전이력이 거의 비슷한 젠틸리-2 원자력발전소와 포인트레프로 원자력발전소가 있다.

중수로형 원전이 많이 있고 또

운전경험도 풍부한 캐나다에서의 삼중수소 관리경험을 우리 나라의 월성 1호기와 비교해 보면 우리 월성 1호기의 삼중수소 관리가 과연 어떤 수준인지를 대강 알 수 있으리라 생각한다.

삼중수소 관리현황을 살펴보면 제일 먼저 계통에서 누설된 중수중 회수되는 양과 회수되지 못하고 방출되는 양을 비교해 보아야 한다. 그리고 환경으로 방출되는 삼중수소의 방사능량 및 이로 인해 주변 주민이 받을 수 있는 방사선 쏘임량도 살펴보아야 하겠다.

물론 주변 환경시료 중의 삼중수소 농도도 비교해 볼 만한 가치가 있으나 중수형일지라도 운전 중 방출되는 삼중수소의 양을 감안할 때 환경시료 중 삼중수소의 농도가 통계적으로 의미가 있을 만큼 크게 변화될 것으로 평가되지 않기 때문에 환경시료 중 삼중수소의 농도는 큰 의미는 가지지 못한다.

먼저 중수형 원자력발전소 내 계통에서 누설되는 중수의 양 및 회수되어 다시 계통으로 되돌려 보내지는 중수의 양을 살펴보자. 아래 <표 1>에 월성 1호기와 동일한 규모의 중수로형 원자력발전소 4기의 중수관리 현황을 수록하였다.

<표 1>에서 보는 것처럼 월성 원자력발전소에서 손실되는 중수의 양은 매년 약 4톤으로써, 이는 발전소 설계기준에 부합하며 다

른 중수형과 비교해 볼 때도 지극히 정상이라고 할 수있다.

다음에 이들 손실된 중수 속에 포함되어 있는 환경으로 방출되는 삼중수소의 방사능량을 살펴보자. 연간 약 4톤 정도의 중수가 손실된다 해도 중수 속의 삼중수소의 농도가 어느 정도인가에 따라 방출되는 삼중수소의 방사능량이 달라진다. <표 2>는 1989년, 1990년 및 1991년도에 발전소에서 방출된 삼중수소의 총 방사능량을 평균하여 수록하였다. 피커링A 및 브루스A 원자력발전소의 경우 원자로 1기당 방출된 삼중수소의 양으로 계산하였다.

역시 월성 1호기에서 연평균 방출되는 삼중수소의 방사능량은 캐나다 내의 원자력발전소에 비해 많지 않은 것으로 나타났다. 이는 단적으로 월성 원자력발전소에서의 삼중수소 관리가 적절히 이루어지고 있음을 의미한다.

원전에서의 삼중수소 방출로 인해 인근 주민이 받을 수 있는 방사선량을 평가한 자료를 검토해 보면 월성 원자력발전소의 경우와 캐나다 포인트레프로 원자력발전소의 경우가 서로 유사함을 알 수 있다. 월성 1호기의 경우가 발전소부지 경계에서 연간 최고로 받을 수 있는 방사선량이 1인당 0.1밀리렘을 약간 상회하는 정도임에 반해 포인트레프로 발전소의 경우는 0.1밀리렘에 조금 못 미치는 것으로 평가되었다.

이 차이는 평가 모델의 차이에

**표 3. 월성 원전 작업자에 대한 최근 방사선 피폭량**

(단위: 맨·렘)

구 분 \ 년 도	89	90	91	평 균
총 방사선량	71	117	56	81
삼중수소에 의한 방사선량	29	67	22	39
삼중수소 방사선량의 분율(%)	41	57	39	48

서 오는 또는 통계적인 오차로 인한 것으로서 별 의미가 없는 수치이다. 한편 피커링이나 브루스 원자력발전소의 경우는 월성이나 포인트레프로의 경우보다는 10~20배 정도 높은 것으로 나타났다. 이는 주로 운전경력이 길고 또한 발전소부지 내에 8기의 많은 원자로가 있기 때문이다. 삼중수소 방출로 인한 발전소 주변의 공기나 지하수 등 환경시료에 들어 있는 삼중수소의 농도 간에도 별 차이가 없다.

이와 같은 자료를 종합해 보면 우리나라에서 유일하게 운전되고 있는 중수로형 원자로인 월성 1호기는 삼중수소 관리측면에서 볼 때 캐나다 내의 원자력발전소에 비해 조금도 손색없이 잘 운영되고 있다고 할 수 있다.

### 경수로와 중수로의 방사선 안전성 비교

같은 용량급의 중수로형 원자력발전소에서 방출되는 삼중수소의 양은 경수로형 발전소에서 방출되는 양의 십여배 가량된다. 또

한 작업자가 근무하는 발전소 내 일부구역의 공기 중 삼중수소 농도는 중수로형 발전소의 경우가 경수로형 발전소와는 비교도 할 수 없을 만큼 높다. 따라서 경수로형 원전과 중수로형 원전을 비교해 볼 때에 삼중수소로 인한 영향이 가장 두드러지게 나타나는 것이 바로 작업자에 대한 삼중수소의 베타방사선으로 인한 방사선 피폭문제이다.

중수로형 원전의 작업자가 받는 방사선량의 대부분은 삼중수소에 의한 것이다. 따라서 발전소 내 공기 중 삼중수소의 농도가 높은 지역에 출입하는 작업자에 대해서는 특별 관리를 한다. 삼중수소의 농도가 높을 경우에는 마스크에 공기중 습기제거장치를 부착해서 작업자의 체내에 삼중수소가 들어가지 못하도록 하고 있다. 그리고 작업자의 뇨시료를 정기적으로 분석하여 체내 삼중수소 농도를 평가하고 방사선 피폭량을 산출한다. 이렇게 해서 월성 원자력 발전소에 근무하는 직원들이 삼중수소로부터 받는 방사선량을 평가해 보면 전체 방사

**표 4. 고리 원전과 월성 원전 작업자의 연간 방사선량 비교**

발전소	구 분	89	90	91	평균
고 리	총방사선량(맨 · 렘/년)	985	836	457	759
	작업자수(인)	2,537	3,395	2,972	2,968
	1인당 방사선량(밀리렘/인 · 년)	388	246	154	256
월 성	총 방사선량(맨 · 렘/년)	71	117	56	81
	작업자수(인)	944	985	1,019	983
	1인당 방사선량(밀리렘/인 · 년)	75	119	55	82

선량의 약 절반 가량이 됨을 알 수 있다(표 3).

중수로형 원자력발전소의 작업자가 비록 삼중수소로부터 받는 방사선량은 많을지라도 작업자들이 각종 방사선원으로부터 연간 받는 총 방사선량은 경수로형 원자력발전소에 비해서 훨씬 더 적다. 같은 기간 동안 고리 원자력발전소의 작업자들이 받은 방사선량과 비교해 보면 쉽게 알 수 있다(표 4).

위 <표 4>를 보면 중수로형 원자력발전소인 월성 원전에 근무하는 작업자들이 받는 방사선량이 평균 1인당 연간 약 82밀리렘으로 경수로형 원전인 고리 원전에서 근무하는 작업자들이 연간 받는 방사선량 약 256밀리렘의 삼분의 일 정도 밖에 안되는 것을 알 수 있다. 또한 표-3에서 보듯이 중수로형 원자력발전소에서 작업자들이 매년 받는 총 방사선량이 81맨 · 렘/년정도의 수준인데 반해 같은 급의 경수로형 원전에서 받는 총 방사선량은 약 300맨 · 렘/년 내외의 수준이다.

이는 단적으로 중수로형 원자력발전소는 비록 삼중수소의 영향을 받기는 하지만, 가장 중요한 총 방사선량 측면에서 보면 경수로형 원자력발전소 방사선 피폭량의 삼분의 일 정도 밖에 안되는 아주 우수한 발전소임을 알 수 있다. 참고로 차세대원자로라고 일컫는 개량형 경수로나 신형 안전로 등 미래의 원자력발전소의 방사선 관리 목표가 약 100맨 · 렘/년 임을 감안한다면 중수형 원자력발전소는 이미 이러한 목표를 달성한 방사선안전 측면에서는 아주 좋은 원자력발전소임을 다시 한 번 더 느낄 수 있다.

방사성폐기물관리 측면에서도 중수형 원자력발전소의 우수성이 나타난다. 방사성 고체 폐기물의 발생량이 중수형 원자력발전소의 경우에는 연간 약 200드럼 정도 밖에 생성되지 않는다. 이에 반해 경수로형 원자력발전소는 중수로와 비슷한 용량의 발전소에서 연간 약 600드럼 이상의 방사성폐기물을 발생시킨다. 그것도 방사성폐기물의 관리가 잘 되고 있는

경우이다.

물론 중수로의 경우 방사성 액체 폐기물 및 방사성 기체 폐기물로 환경에 방출시켜 버리는 방사능의 양이 경수로의 그것에 비해 열배 이상 높은 것은 사실이다. 그러나 환경에 방출시키는 방사성물질의 종류가 삼중수소나 방사성 희유 기체 등 비교적 다른 방사성핵종보다 인체에 미치는 방사선의 영향이 적은 것들이 대부분을 차지하기 때문에 실제로 발전소 주변환경에 미치는 방사선 영향은 중수로형 원자력발전소와 경수로형 원자력발전소 간에 별 차이가 없다.

발전소 주변 주민들에게 미치는 방사선 영향인 주민 피폭선량을 관련 전산 모델을 이용해서 평가해 보면 고리 원자력발전소가 연 0.1밀리렘이 조금 안되는 수준이고 월성 원자력발전소가 1 밀리렘을 약간 상회하는 정도임을 알 수 있다. 물론 고리 원자력발전소에는 모두4기의 원자로가 가동 중이고 월성에는 한 기의 원자로 밖에 없음에도 불구하고 월성의 주변 피폭선량이 높은 것은 문제가 되지 않는다고 하고 반문할 수는 있다. 그러나 주민 피폭선량은 한 부지에 여러기의 원자로가 있어도 원자로의 숫자에 비례해서 커지는 것은 아니다. 또 0.1밀리렘 정도의 방사선량은 자연에서 받는 방사선량 240밀리렘에 비해 너무 적은 양이어서 1밀리렘과 1.0밀리렘의 차이는

무시하여도 무관한 것이다.

즉, 한 마디로 쉽게 말해서 비록 중수로형에서 기체 또는 액체 방사성폐기물로 환경에 방출되는 양이 경수로형에서 방출되는 양보다 훨씬 많다고는 하나 주변 주민에 미치는 방사선 영향은 중수로나 경수로 모두 다 거의 없는 것이나 마찬가지라는 말이다. 결국은 방사성폐기물의 발생이라는 측면에서 본다면 역시 중수로형이 발생시키는 방사성폐기물의 양이 훨씬 적어 경수로형 보다 더 우수함을 알 수 있다. 이는 비록 중수로에서는 많은 양의 삼중수소가 발생된다고는 하나 삼중수소의 단위 방사능(큐리)당 인체나 환경에 미치는 영향이 다른 방사성 핵종의 그것에 비해 훨씬 작다는 사실과 삼중수소를 제외한 다른 핵종의 방사능 농도는 중수로가 천연 우라늄을 사용하기 때문에 경수로 내의 방사능 농도보다 더 낮다는 사실에 기인한다고 볼 수 있다.

### 앞으로의 전망

지난 1991년도에 수립된 한국 전력공사의 장기전원개발계획에 따르면 2006년까지 월성 원자력 발전소 부지 내에 모두 7기의 중수로형 원자로가 들어서도록 되어 있다. 다수기의 중수로가 한 부지 내에 들어갈 경우 삼중수소의 영향에 대해서 살펴보자.

물론 각 원자로 계통 내의 삼

중수소 총량은 운전을 오래하면 할수록 늘어나겠지만 발전소내에서 근무자 일인당 받는 방사선량이나 혹은 원자로 1기당 모든 직원이 받는 총 방사선량인 맨·렘은 월성 부지에 다수 기의 중수로가 들어서더라도 현재의 월성 1호기 방사선 관리실적과 별로 다를 것이 없을 것으로 전망된다.

그리고 원자로 1기당 발생시키는 방사성폐기물의 양도 마찬가지로 일 것으로 생각된다. 오히려 월성 원전 부지에 다수의 호기가 가동될 무렵이면 우리의 중수로 방사선관리기술이나 방사성폐기물 처리기술이 지금보다 많이 발달되어 호기당 방사선관리실적이나 방사성폐기물 관리실적은 더욱 더 좋아질 가능성이 있다.

단지 문제가 되는 점은 부지 내에 삼중수소의 총량이 늘어남으로 해서 주변 환경에 방출되는 삼중수소의 양이 늘어나 환경이나 주변 주민들에게 큰 피해나 끼치지 않을까 하는 점이다. 월성 부지 내에 원자로가 6기 더 들어서게 된다면 환경에 방출하는 삼중수소의 방사능 양도 그만큼 늘어나는 것도 사실이다.

그러나 이로 인해 인근 주민이 연간 받을 수 있는 최대 방사선량은 추가로 방출된 방사능양에 비례해서 늘어나는 것은 아니다. 왜냐하면 한 부지 내에 다수 호기가 있을 경우, 각 호기에서 방사성폐기물을 방출하는 시점이 각기 달라 방출할 때 풍향이 시

시각각 달라지므로 방사성물질이 조금 더 넓은 지역에 걸쳐 균일하게 확산되기 때문이다. 그러므로 어느 특정지역에서 주민 한 사람이 연간 최대로 받을 수 있는 방사선량은 한 호기 운전시 받을 수 있는 방사선량에 다수 호기를 곱한 양보다 더 적은 양을 받게 되는 것이다.

현재 월성 1호기로부터 인근 주민 한 사람이 일년에 최대로 받을 수 있는 방사선량은 0.1밀리렘 내외라고 하였다. 따라서 월성 부지 내에 6기의 중수로형 원자력발전소가 추가로 더들어선다 하여도 주민이 최대로 받을 수 있는 연간 방사선량은 0.7밀리렘이 못되는 것이다. 이는 모든 사람이 받는 연간 자연방사선량이 약 240밀리렘이고, 또 최근 국제 방사선방어위원회(ICRP)에서 권고한 일반 국민들이 받을 수 있는 방사선 피폭제한치인 연간 100밀리렘과 비교할 때 전혀 문제가 될 것이 없는 수준의 방사선량이다.

한편 월성 원전부지 주변의 환경시료 중 삼중수소의 방사능 농도를 살펴보면 경수로인 고리 원전 주변의 환경시료 중 삼중수소 농도에 비해 다소 높은 것은 사실이다. 여기에서 만약 월성 원전 부지에 추가로 6기의 중수로가 들어선다면 환경시료 중 삼중수소의 농도는 더 높아질 전망이다. 그러면 삼중수소의 농도가 얼마나 더 높아지고 또 이로 인한 환



경영향 또는 인근 주민에 미치는 영향은 어떠한 것인가?

캐나다의 피커링 원전 또는 부루스 원전 부지 내에는 각기 8기의 원자로가 들어 있다. 이 두 원전 부지 인근의 환경시료 중 삼중수소 농도를 살펴보면 한 기의 원자로 만을 운전하고 있는 캐나다의 포인트레프르 원자력발전소 주변의 환경시료 중 삼중수소 농도에 비해 다소 높은 편이지 크게 문제가 될 정도로 높지는 않다. 따라서 월성 원전 부지 내에 앞으로 중수로 6기가 추가로 더 건설된다 하더라도 삼중수소 문제에 대해서 크게 염려하지 않아도 된다.

지금까지 검토한 내용을 종합해 보면 중수소형 원자력발전소에서 삼중수소가 많이 발생되고 또 주변 환경으로 방출되는 것은 사실이다. 하지만 발전소에서 발생하는 여러가지 방사능물질 중에서 삼중수소는 단위 방사능 당 인체 또는 환경에 미치는 영향이 가장 작아서 삼중수소로 인한 방사선 영향은 경수로형 원자력발전소의 모든 방사선 문제에 비할 때 훨씬 더 적은 것이다.

그리하여 중수로형 발전소에서는 삼중수소가 많이 생긴다 할지라도 방사선 위험도가 훨씬 더 큰 다른 방사성 물질을 경수로형보다 더 적게 생성시키므로 결국은 방사선문제에 관한한 경수형 원전 보다 중수형 원전이 훨씬 더 우수하다. 그리고 월성 원자력

발전소 부지 내에 앞으로 6기의 중수형 원자로가 더 도입된다 할지라도 삼중수소문제는 크게 대두되지 않을 전망이다.

중수로형 원자력발전소 계통 내에 계속 축적되는 삼중수소의 영향을 조금이라도 줄여보고자 하여 고안해 낸 방법들이 있다. 한 부지 내에 여러 기의 중수소가 시차를 두고 계속 건설, 운전될 때 먼저 운전을 시작한 선행호기 내의 삼중수소 양을 줄이며 동시에 작업자에 대한 삼중수소의 방사선량을 줄이는 방법이 그것이다.

삼중수소 이동운전법이라 불리는 이 방법은 선행호기의 냉각재 계통에 있는 삼중수소를 포함한 중수를 나중에 들어서는 원자로의 감속재 계통에 집어 넣고, 그 원자로의 감속재에 넣기로 되어 있는 삼중수소가 없는 깨끗한 중수를 선행호기의 냉각재 계통에 넣음으로 해서 선행호기의 삼중수소 농도를 떨어뜨려 작업자에 대한 방사선량을 줄이고 또 부지 외부로 방출시키는 삼중수소의 양을 줄이는 것이다.

이 때 나중에 들어서는 후속기의 감속재 삼중수소가 높아 「부지 전체로 보면 삼중수소 이동운전법의 효과가 없는 것이 아닌가」 하고 생각할 수 있다. 그러나 감속재의 삼중수소 농도는 냉각재 내의 농도에 비해 월등히 높아 후속기가 운전 초기에는 선행호기로부터 받은 삼중수소의 영

향을 조금 받으나 운전 횟수가 더해 갈수록 영향은 줄어든다. 게다가 감속재계통은 대기압하에서 운전되므로 냉각재계통에 비해 중수누설량이 훨씬 적어 삼중수소 이동운전의 효과는 크다.

삼중수소를 계통에서 근원적으로 제거하는 방법도 있다. 삼중수소 제거장치를 도입하여 계통 내의 중수 속에 들어 있는 삼중수소를 분리하여 제거할 수는 있지만 이 장치는 거대한 공장 규모로 건설비가 상당히 비싸다. 따라서 이 장치 개발에 대한 연구를 하여 만약 국내 기술진으로 소규모의 삼중수소 제거설비를 만들 수 있다면 중수로 운전 중 생겨나는 삼중수소의 양을 줄일 수 있을 뿐만 아니라 운전 종료 후 폐기되는 중수로형 원전에서 삼중수소로 오염된 중수처리에도 큰 효과를 볼 수 있다. 그리고 제거된 삼중수소는 귀중한 자원으로도 쓸 수 있는 것이다.

결론적으로 현재 월성 원전에서는 삼중수소가 많이 생성되고 있으나 중수로의 설계 개념이나 효과적인 관리로 인해 삼중수소의 방사선영향은 경수로형의 방사선 영향에 비할 때 훨씬 더 안전한 것으로 평가된다. 앞으로 월성 원전부지에 추가로 6기의 중수소가 건설된다 할지라도 전체적인 방사선 안전관리나 방사성 폐기물 발생측면에서 본다면 경수로형 원전단지보다 더 안전한 것으로 예상된다.