

## Estimation of Tritium Concentration in the Environment based upon Global Tritium Cycling Model

Heui-Joo Choi · Han Soo Lee · Hee Suk Kang and Chang Woo Lee  
Korea Atomic Energy Research Institute

### 글로벌 삼중수소 순환 모델을 이용한 삼중수소 환경 방사능 추정

최희주\* · 이한수 · 강희석 · 이창우  
한국원자력연구소, 대전 유성구 덕진동 150, 305-600

(2002년 2월 27일 접수, 2003년 2월 5일 채택)

**Abstract** - The periodic safety review of operational nuclear power plants requires that the plants should keep a well organized environmental monitoring program. The past records of environment monitoring data were analyzed, and the tritium concentrations of the samples in the surface and ground water around Kori site were measured. It was shown that the tritium concentrations around the Kori site were slightly higher than that of natural background. The change of background tritium concentration was estimated through a numerical modeling. Two different versions of 7 compartments model - the world and the northern hemisphere - defined in NCRP-62 were modeled for the global tritium cycling. The numerical solution of the model was obtained using a computer program, AMBER. The four cases of tritium source-terms into the atmosphere were considered. The results showed that the tritium concentration in the surface soil water was higher than that in sea water or surface stream water. Also, it was shown that the tritium produced by the interaction between cosmic rays and the gases were the major source of tritium, and the tritium produced by nuclear weapon test decreased considerably.

**Key words** : tritium, environment, global circulation, dynamic compartment model

**요약** - 원자력 발전소에 대한 주기적 안전성 평가에서는 발전소 주변 환경감시 프로그램 적절성의 확보를 요구한다. 이를 위하여 고리 원자력발전소 주변에 대하여 과거에 측정된 삼중수소의 환경방사능 자료를 분석하고, 새로이 시료를 채취하여 농도를 측정하였다. 분석결과 고리 원자력 발전소 주변에서의 삼중수소 농도가 국내 자연 환경 방사능 농도와 유사하였다. 국내 삼중수소 환경방사능 변화를 모델링을 통하여 추정하였다. 이 모델링에서는 NCRP 62에서 권고한 7격실 글로벌 삼중수소 순환 모델 중 지구 전체에 대한 것과 북반구에 대한 것을 비교하였다. 이들 모델식에 대한 수치해는 AMBER 프로그램을 이용하여 구하였으며, 대기 중으로 방출되는 삼중수소의 선원항으로 4가지 경우를 고려하였다. 계산결과, 지표수의 삼중수소 농도가 해수나 지하수의 농도보다 높게 나타났고, 우주선에 의한 삼중수소 발생이 가장 중요한 삼중수소 발생 원이었으며, 핵실험에 의해 발생된 삼중수소는 많이 감소하였다.

중심어 : 삼중수소, 환경, 지구 순환, 동적 격실 모델

## 서론

원전의 안전성을 확인하기 위한 방법으로 가동된 발전소에 대한 주기적 안전성평가가 최근 법제화 되었다. 이에 따라 국내 원자력 관련 연구기관에서는 필요한 기술개발을 수행하고 있으며, 한국원자력연구소에서는 주기적 안전성평가에 필요한 환경방사선 감시기술을 개발 중에 있다. 원자력 발전소 운전을 통하여 대기 중으로 방출된 방사성 핵종들의 환경 내 거동을 알아보기 위하여 고리 발전소 주변 환경시료 조사결과를 분석하였으며, 풍하 방향을 고려하여 선정된 지점에서 지표수, 지하수를 채취하여 삼중수소 농도를 측정하였다. 측정된 삼중수소의 농도가 환경 방사능 값과 유사하였다. 삼중수소의 환경방사능은 대기 중 농도에 따라 변하므로, 국내 환경 중 변화를 모델링을 통하여 추정할 필요가 있다.

고리 발전소 주변 환경에서 측정되는 삼중수소는 고리발전소로부터 방출된 양과 자연환경에 존재하고 있던 양과의 합이다. 즉, 고리 발전소 외에서 발생한 삼중수소는 지구 상부 공기층과 우주선과의 반응에 의한 것, 과거 핵무기 실험에 의해 발생한 것, 삼중수소를 이용한 발광체 제조과정에서 생긴 것과 기타 원자력 시설에서 방출된 것이다.

삼중수소는 환경 중에 HT 혹은 HTO 형태로 방출되나 대부분은 HTO 형태로 존재한다[1]. 삼중수소에 의한 인체에의 피폭을 계산하기 위해서는 지구 환경 내의 삼중수소 농도를 평가하여야 한다. 이를 위하여 글로벌 삼중수소 순환 모델이 이용되며, 이 모델의 기본 가정은 HTO 형태로 존재하는 삼중수소가 물의 순환과 동일하게 지구 내에서 순환한다는 것이다. 가장 단순한 모델은 미국 EPA[2]가 대기 중 수증기량은 무시하고 북반구를 단 1개의 격실(compartment)로 간주한 것이다. Bonka[3]는 해양을 혼합층(mixed layer)과 심층(deep layer)으로 구분하여 2 격실 모델을 제시하였다. 2 격실 모델을 보완하여 대기, 해양 표층수, 육지 표층수를 고려한 단순한 3 격실 모델도 NCRP[4]에 의해 제시된 바 있다. 이들보다 합리적인 모델로는 Easterly와 Jacobs[5]가 제시한 7 격실 모델과 Bergman 등[6]의 8 격실 모델이 있다. 최근 Nishimura[7] 등이 일본 환경 삼중수소에 의한 피폭을 구하기 위하여 이용한 모델의 경우에는 지구를 576개의 격실로 나누어 계산하였다. 그러나 모델이 복잡해질수록 격실 사이의 전달계수들이 갖는 불확실성도 커져 계산결

과가 정확하다는 보장은 없다.

본 연구의 목적은 고리 원자력발전소 주변 환경에서 측정된 삼중수소 농도 중 자연 환경방사능에 의한 값을 추정하기 위한 것이다. 이를 위하여 NCRP-62[4]에 제시된 지구를 7개의 격실로 나누는 글로벌 삼중수소 순환 모델을 이용하였다. 이 모델은 지구 전체 삼중수소 농도를 추정하기 위한 것이나 고리 발전소 주변도 큰 차이가 없을 것으로 판단되어 이용하였다. 삼중수소 발생원으로 4가지의 선원항 값을 구하여 계산하였다. 글로벌 삼중수소 순환 모델에는 대기권에서의 체류 시간을 고려하여 지구 전체를 고려한 것과 북반구만을 고려한 것 2가지 경우를 비교하였다. 격실 사이의 물질전달 계산은 AMBER 컴퓨터 프로그램을 이용하였으며, 계산 결과는 국내 환경에서의 삼중수소 농도를 측정된 값들과 비교하였다. 또한, 환경 중 삼중수소 농도에 가장 큰 영향을 주는 주요 선원을 추적하였다.

## 고리 주변 삼중수소 농도 변화 추이

원자력발전소 주변 환경에서의 방사능은 한국수력원자력주식회사와 한국원자력안전기술원(KINS)에 의해 주기적으로 측정되고 있다. 고리 부지내의 4기의 원자로로부터 방출되는 삼중수소 방출량은 매년 약간 증가하는 추세를 나타내고 있다[8]. 원자력 발전소 주변환경에서 방출된 삼중수소 분포를 기존의 측정자료를 이용하여 분석하였다. Fig. 1은 고리 발전소 주변 시료(지하수, 해수)에서의 삼중수소 농도 변화이다. 이들은 1999년 KINS에서 측정한 전국 평균 수돗물 중의

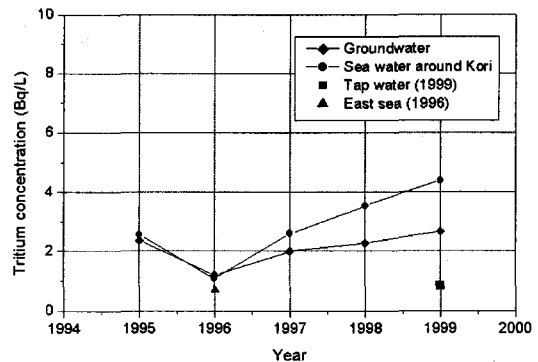


Fig 1. Tritium concentrations around the Kori site. The concentrations in groundwater and sea water show slightly higher than those in the average tap water and east sea water

Table 1. Tritium concentrations in the samples around Kori site (February 15, 2001).

Location	Distance from Kori MET station(m)	Altitude (m)	Sample	Direct method (Bq L <sup>-1</sup> )	Electrolysis method (Bq L <sup>-1</sup> )
Kori-A	1103	9.4	Groundwater	2.50	3.6
			Surface stream water	1.25	1.6
Kori-B	1546	12.3	Groundwater	1.88	3.9
			Surface stream water	1.67	1.9
Kori-C	1779	20.7	Groundwater	1.67	2.2

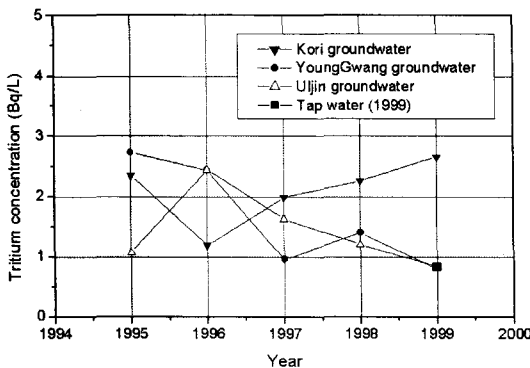


Fig 2. Tritium concentrations in groundwater around the PWR sites.

농도(0.83 Bq/L)와 1996년에 측정된 동해 표층수 중의 농도(0.54 Bq/L)보다 약간 높게 나타났다. Fig. 2는 가압경수로형 원자로를 운전 중인 고리, 영광, 울진 발전소 주변 지하수 중의 삼중수소 농도 변화를 나타낸다. 5년 동안 3개 부지 주변 지하수 중 삼중수소 농도가 증가하는 추세를 보이는 않지만 모두 전국 평균 수돗물 중 농도보다는 높았다.

기존에 측정된 값의 신뢰도를 확인하며, 위치에 따른 삼중수소 농도 변화 여부를 알아보기 위하여 1999년도 고리 발전소 주변 풍향 분포를 분석하여 3지점을 선정하고 이곳의 지하수와 지표 하천수를 채취하여 삼중수소 농도를 측정하였다. 삼중수소 농도 측정은 전기분해법과 직접법 두 가지 방법을 이용하였다. Table 1에 시료 채취 지점, 지표 하천수, 지하수 중의 삼중수소 농도 측정 결과를 열거하였다. Table 1에 주어진 삼중수소 농도는 원자력발전소로부터의 거리에 따라 차이를 나타내지는 않고, 대략 지하수가 지표 하천수보다 약간 높은 값을 나타내고 있다. 분석

방법에 따라서는 전기분해법 결과가 직접법 결과보다 약간 높은 농도를 나타내었다. 이것은 시료의 농도가 너무 낮아 직접법으로 측정하기에는 어려움이 있었던 것으로 판단된다. 시료의 삼중수소 농도는 대략 1~4 Bq/L이다. 1999년 KINS에서 측정한 고리 발전소 주변 지하수 중의 삼중수소 농도는 2.66 Bq/L 이다[9]. 이들 삼중수소 농도는 전국 수돗물 중의 삼중수소 농도 평균치보다 높은 값이다.

### 글로벌 삼중수소 순환 모델

지구 내에서 삼중수소가 어떤 분포를 하는지를 예측하기 위한 모델의 기본 가정은 HTO 가 물과 동일하게 순환한다고 가정하고, 유사한 거동을 하는 수권을 하나의 격실로 간주하여 각 수권사이의 물의 이동을 계산하는 것이다. 본 연구에서는 삼중수소 순환을 계산하기 위하여 NCRP 62 모델을 이용하였다(Fig. 3 참고). NCRP 62 모델에서는 지구 전체를 대기, 해양 표층수(75m), 해양 심층수, 지표 토양수, 심층 지하수, 지표 하천 및 호수(지표 하천수), 염수 호수 및 내륙해의 7개 격실로 구분하고 있다(각 격실 내 물의 부피는 지구 전체를 모델로 한 경우와 북반구만을 모델로 한 경우에 대해 Table 2에 나타내었다). 각 격실 사이의 물질 수지식은 다음과 같다:

$$\frac{dA_i}{dt} = - \sum_{j=1}^m k_{ji} A_j + \sum_{j=1}^m k_{ij} A_j - \lambda A_i + S_i \quad (1)$$

여기서  $A_i$ 는 격실-i 내의 삼중수소 총량 [Bq],

$k_{ij}$ 는 격실-i에서 격실-j로의 전달계수 [yr<sup>-1</sup>],

$\lambda$ 는 삼중수소 붕괴상수 [yr<sup>-1</sup>],

$S_i$ 는 격실-i로 유입되는 삼중수소 선원항 [Bq yr<sup>-1</sup>] 이다.

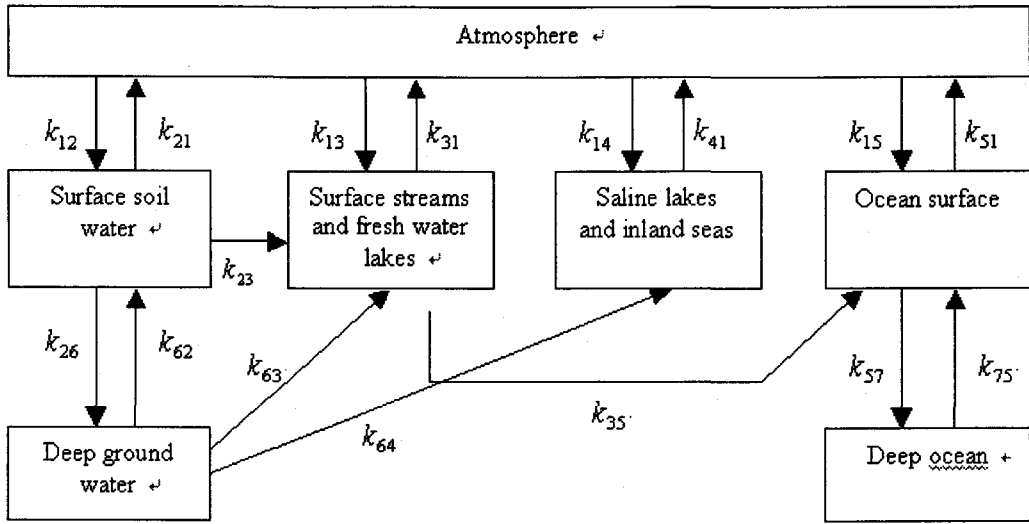


Fig. 3. Global tritium cycling model: 7 compartment model [5].

Table 2. Water volume of each compartment

Compartment	World(m <sup>3</sup> )	Northern hemisphere(m <sup>3</sup> )
Atmosphere	$1.3 \times 10^{13}$	$6.5 \times 10^{12}$
Surface soil water	$3.7 \times 10^{13}$	$4.5 \times 10^{13}$
Surface streams and fresh water lakes	$1.26 \times 10^{14}$	$9.5 \times 10^{13}$
Saline lakes and inland seas	$1.04 \times 10^{14}$	$1.0 \times 10^{14}$
Deep groundwater	$8.35 \times 10^{13}$	$5.63 \times 10^{13}$
Ocean surface	$2.7 \times 10^{16}$	$1.16 \times 10^{16}$
Deep ocean	$1.29 \times 10^{18}$	$5.53 \times 10^{17}$

식(1)의 우변의 첫번째 항은 격실-i로부터 주변 격실로 이동하는 물질량을 두 번째 항은 주변 격실로부터 격실-i로 유입되는 물질량을 나타낸다.  $m$ 은 격실-i와 연결되어 물질을 주고 받는 격실 수이다. 세 번째 항은 방사성 붕괴, 네 번째 항은 격실-i로의 선원항이다. 미분방정식(1)은 서로 연계되어 있어 해석하는 구하기 쉽지 않으며, 본 연구에서는 AMBER 프로그램[11]을 이용하여 해를 구하여 계산하였다. AMBER 프로

그램은 영국의 ENVIRO사에서 개발한 코드로 동적 격실 모델에 대한 해를 구해주는 프로그램이다. 이 프로그램은 임의의 격실과 전달계수에 따라 자동으로 Talbot 알고리즘을 이용한 라플라스 변환법 혹은 Dylan 방법을 이용한 수치적 방법을 이용하여 해를 구하고 있다. 이들 격실 사이의 전달계수를 Table 3에 나타내었다.

Table 3. Transfer coefficients between the compartments

Transfer coefficients	Values(yr <sup>-1</sup> )
k12	7.638
k21	1.01
k13	4.61×10 <sup>-2</sup>
k31	7.94×10 <sup>-3</sup>
k14	7.96×10 <sup>-3</sup>
k41	4.81×10 <sup>-3</sup>
k15	24.62
k51	1.29×10 <sup>-2</sup>
k23	0.438
k26	0.391
k62	2.87×10 <sup>-3</sup>
k63	1.20×10 <sup>-4</sup>
k64	4.79×10 <sup>-5</sup>
k35	0.238
k57	5.03×10 <sup>-2</sup>
k75	1.24×10 <sup>-3</sup>

### 삼중수소 선원항 및 계산 결과

#### 우주선에 의한 삼중수소

자연 환경에서 삼중수소는 대기권 상층부의 기체들과 우주선과의 반응을 통해 발생된다[10]. 우주선에 의한 삼중수소 발생률은 대략 0.52 triton/cm<sup>2</sup>-sec로 알려져 있으며, 지구 표면적이 대략 5.096×10<sup>8</sup> km<sup>2</sup>이므로 연간 우주선에 의한 삼중수소 발생량은 대략 1.48×10<sup>17</sup> Bq (4 MCi)이다. 우주선에 의한 연간 삼중수소 발생량을 대기 중으로의 선원항으로 간주하고 각 격실에서의 삼중수소 농도를 구하였다. Fig. 4에는 우주선에 의해 발생된 삼중수소의 지구 상 분포를 AMBER 프로그램을 이용하여 구한 값이다. Fig. 4에 나타나 있듯이 3, 40년이면 충분히 정상 상태에 도달하므로 지구 연령을 고려하면, 우주선에 의한 삼중수소 농도는 정상 상태에 도달하였다. 즉, 우주선에 의한 대기 중 삼중수소 농도는 약 0.45 Bq L<sup>-1</sup>, 지표 토양수 중 농도는 약 0.350 Bq L<sup>-1</sup>, 지표 하천수 중의 농도는 약 0.28 Bq L<sup>-1</sup>이다. 깊은 지하수 중의 농도는 대략 0.18 Bq L<sup>-1</sup>로서 지표 토양수의 절반 가량이다.

#### 핵실험에 의한 삼중수소

인간에 의해 대기 중으로 방출되는 삼중수소의 중요한 요인의 하나는 핵 폭탄 실험에 의한 것이다. 수소폭탄의 경우 삼중수소 발생량은 대략 2.5×10<sup>17</sup> Bq MT<sup>-1</sup> (6.7×10<sup>6</sup> Ci MT<sup>-1</sup>)이며, 원자폭탄의 경우 대략 2.6×10<sup>13</sup> Bq MT<sup>-1</sup> (7.0×10<sup>2</sup> Ci MT<sup>-1</sup>)로 추정된다[10]. 최초의 핵실험은 1945년 미국에서 있었으며, 1963년 인접국가로의 방사능 확산이 가능한 대기와 수중 핵실험을 금지한

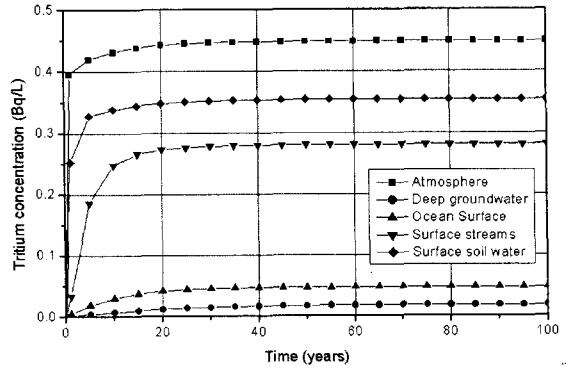


Fig. 4. Tritium concentrations due to the interactions between cosmic rays and gases of the upper atmosphere.

Table 4. Annual release of tritium into the atmosphere from nuclear weapon tests.

Year	Annual releases(Ci)	Year	Annual releases(Ci)
1945	4.0×10 <sup>3</sup>	1960	7.1×10 <sup>2</sup>
1946	1.4×10 <sup>2</sup>	1961	4.9×10 <sup>8</sup>
1947	0	1962	7.1×10 <sup>8</sup>
1948	7.4×10 <sup>3</sup>	1963	0
1949	0	1964	1.4×10 <sup>2</sup>
1950	0	1965	1.4×10 <sup>3</sup>
1951	1.1×10 <sup>3</sup>	1966	4.7×10 <sup>3</sup>
1952	7.1×10 <sup>7</sup>	1967	2.0×10 <sup>7</sup>
1953	1.8×10 <sup>6</sup>	1968	3.9×10 <sup>7</sup>
1954	1.0×10 <sup>8</sup>	1969	2.0×10 <sup>7</sup>
1955	7.8×10 <sup>6</sup>	1970	3.6×10 <sup>7</sup>
1956	9.3×10 <sup>7</sup>	1971	5.2×10 <sup>6</sup>
1957	6.4×10 <sup>7</sup>	1972	8.7×10 <sup>5</sup>
1958	2.1×10 <sup>8</sup>	1973	1.7×10 <sup>7</sup>
1959	0	1974	3.9×10 <sup>6</sup>

핵실험 제한 조약(Limited Test Ban Treaty)에 미국, 러시아, 영국이 조인함으로써 주요국의 대기 중 핵실험은 중지되었으나 프랑스에서는 1970년대까지, 중국에서는 1980년대까지 대기 중에서 실험을 지속하였다[12, 13].

본 연구에서는 1945년부터 1975년 사이의 모든 핵실험 자료 중 지상에서 수행된 것을 대상으로 삼중수소 선원향을 결정하였다[10]. 핵실험과 같이 인공적으로 발생한 삼중수소의 경우 대기권에서의 체류시간이 비교적 짧아 지구 전체 모델과 북반구 모델 2가지에 대하여 계산을 수행하고 비교하였다. Table 4에 핵실험을 통해 대기 중으로 방출된 삼중수소의 방사능을 나타내었다. 이들 삼중수소 선원향을 이용하여 지구 전체를 모델로 하여 구한 삼중수소 농도를 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 5를 살펴보면 핵 실험이 활발하였던 1950, 60년대 대기중 및 지표수 중의 삼중수소 농도는 심각하게 높았으나 대기중에서의 핵실험이 중지된 이후에는 급격히 감소하였다. 2000년을 기준으로 살펴 보면 핵실험에 의한 삼중수소는 지구 전체 모델의 경우 지표 토양수 중 농도가 대략 0.055 Bq L<sup>-1</sup> 북반구 모델의 경우 0.082 Bq

L<sup>-1</sup>, 지표 하천수 중의 농도는 지구 전체 모델의 경우 대략 0.065 Bq L<sup>-1</sup> 북반구 모델의 경우 0.086 Bq L<sup>-1</sup>로 나타났다.

**야광체로 이용된 삼중수소**

시계 등에 야광체로 사용된 삼중수소는 소각을 통해 궁극적으로 환경에 누출된다. 이들 유출량은 시계에 이용된 삼중수소의 50%로 추정하였을 경우 Table 5에 주어졌다[10]. 이 값을 이용하여 계산한 지표 토양수 중의 삼중수소 농도는 2000년을 기준으로 살펴보면 지구 전체 모델의 경우 대략 0.066 Bq L<sup>-1</sup> 북반구 모델의 경우 0.098 Bq L<sup>-1</sup>, 지표 하천수 중의 농도는 지구 전체 모델의 경우 대략 0.051 Bq L<sup>-1</sup> 북반구 모델의 경우 0.068 Bq L<sup>-1</sup>이다.

**원자력 산업체로부터의 삼중수소**

원자력을 이용하는 산업체로부터의 삼중수소의 주요 방출원은 원자력발전소와 사용후 핵연료 재처리 시설이다. 원자력 시설로부터 방출되는 삼중수소의 방사능은 시나리오 설정에 많은 영향을 받는다. 본 연구에서는 시나리오 중 원자로로부터 발생량은 일정하나 재처리 시설로부터의 삼중수소 방출량을 가장 보수적으로 간주한 시나리오를 선택하였다. 즉, 삼중수소 방출량이 대략 5.9 × 10<sup>16</sup> Bq yr<sup>-1</sup> (1.6 MCi yr<sup>-1</sup>)인 시나리오를 선택하였다[10]. 원자력시설로부터의 삼중수소 선원향은 Table 6에 주어졌으며, 지구 전체를 모델로 한 계산 결과는 Fig. 6에 나타난 바와 같다. 계산 결과를 살펴 보면 2000년을 기준으로 지표 토양수 중 삼중수소 농도는 지구 전체 모델의 경우 0.056 Bq L<sup>-1</sup> 북반구 모델의 경우 0.083 Bq L<sup>-1</sup>, 지표 하천수 중의 농도는 지구 전체 모델의 경우 0.034 Bq L<sup>-1</sup> 북반구 모델의 경우 0.045 Bq L<sup>-1</sup>이다.

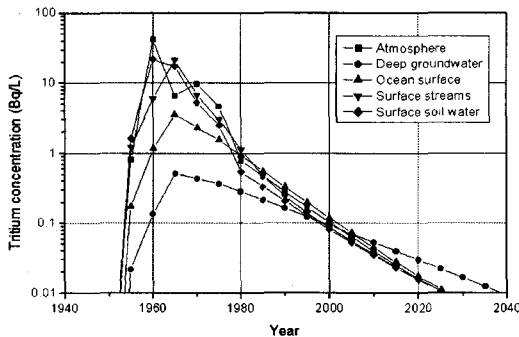


Fig. 5. Tritium concentrations due to nuclear weapon tests.

Table 5. Estimated annual release of tritium from luminous devices.

Year	Annual releases(MCi)
1981	0.16
1982	0.17
1983	0.3
1984	0.55
1985-2020	0.76

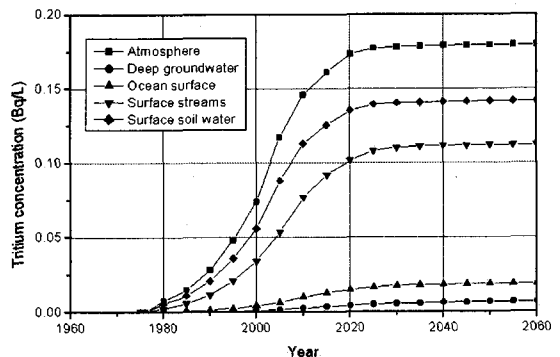


Fig. 6. Tritium concentrations due to nuclear industries.

Table 6. Annual release estimates of tritium from nuclear industries.

Year	Annual releases(Ci)	Year	Annual releases(Ci)
1975	$4.1 \times 10^4$	2000	$7.5 \times 10^5$
1980	$8.5 \times 10^4$	2005	$1.2 \times 10^6$
1985	$1.6 \times 10^5$	2010	$1.4 \times 10^6$
1990	$3.0 \times 10^5$	2015	$1.5 \times 10^6$
1995	$5.0 \times 10^5$	2020	$1.6 \times 10^6$

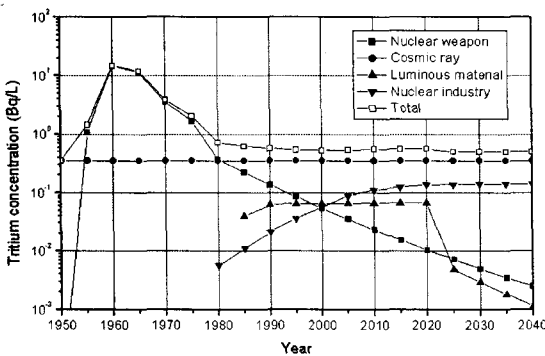


Fig. 7. Contributions to tritium concentrations in surface soil water from all sources.

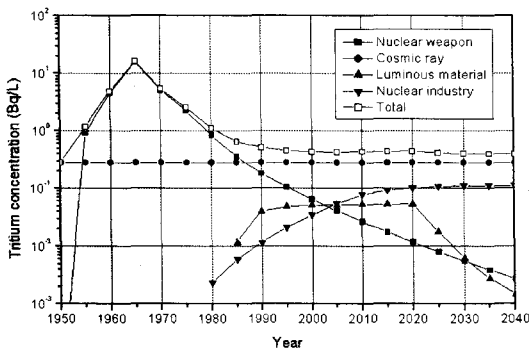


Fig. 8. Contributions to tritium concentrations in surface stream water from all sources.

**결과 논의**

본 연구에서 관심이 있는 발전소 주변 환경은 지표 토양수와 지표 하천수이다. 따라서 이들 중의 삼중수소 환경 방사능 변화를 관찰하였다. Fig. 7은 지구 전체 모델을 이용하였을 경우 구한 지표 토양수 중의 삼중수소 농도를 발생원 별로 나타낸 것이다. 그림에서 쉽게 알 수 있듯이 핵 실험이 활발하였던 1950년대와 60년대는 대부분

의 삼중수소가 이들에 의하여였으나 3, 40 여년이 지난 지금은 많이 붕괴되고, 심층 지하수 혹은 해수로 흘러 들어 많이 감소하였으며, 현재 제일 중요한 환경 중 삼중수소 발생은 우주선에 의한 것이다. 1999년에 측정되었던 전국 수돗물 중의 삼중수소 농도  $0.83 \text{ Bq L}^{-1}$ 와 비교하면, 지구 전체 모델의 경우  $0.53 \text{ Bq L}^{-1}$ 로 북반구 모델의 경우  $0.62 \text{ Bq L}^{-1}$ 로 계산되었다. 이는 북반구 모델이 비교적 적게 확산되어 더 농도가 높게 나타난 것이다. 원자력시설로부터의 선원항을 어떻게 결정하느냐에 따라 값이 변할 수 있어, 절대값을 맞추는 것보다는 지표수 중 삼중수소 농도 값의 발생원을 예측하는 것에 비중을 두었다. Fig. 8에 나타난 바와 같이 지표 하천수 중의 삼중수소 역시 지표 토양수와 비슷한 발생원의 영향을 받았다. 지표 토양수와 지표 하천수 중의 삼중수소 농도를 비교하여 보면, 지표 토양수의 농도가 더 높았다. 이것은 고리 발전소 주변에서 채취한 시료들의 측정 결과와도 경향이 비슷하다.

**결 론**

원자력 발전소에 대한 주기적 안전성 평가에서는 발전소 주변 환경감시 프로그램으로서 환경 방사능과 방사성 핵종 방출량과의 상관관계 도출을 요구하고 있다. 이를 위하여 과거에 측정된 환경 방사능 자료를 분석하고, 새로운 시료를 채취하여 삼중수소 농도를 측정하였다. 분석결과 원자력 발전소 주변에서의 삼중수소 농도가 자연 환경 방사능과 유사하였으며 발전소 운전에 비례하여 측정 경향은 보이지 않았다.

삼중수소의 국내 환경 방사능에 대해서는 일부 측정자료만 있어, 이들 값을 모델링을 통해 추정하였다. 삼중수소 자연 환경 방사능을 구하기 위해 NCRP 62에서 권고한 7격실 글로벌 삼중수소 순환 모델을 이용하였다. 모델식에 대한 해는 AMBER 프로그램을 이용하여 구하였다. 자연 방사능을 구하기 위해 고려한 선원항은 우주선에 의한 삼중수소, 핵실험에 의한 삼중수소, 야광체로 이용된 삼중수소와 타 원자력산업체로부터의 삼중수소 4가지 경우를 고려하였다. 계산 결과 체류시간이 비교적 짧은 인공적인 삼중수소의 경우 북반구 모델이 확산 효과가 작아 측정치에 더욱 가까웠다. 지표 토양수 중의 삼중수소 농도가 지표 하천수나 해수 중의 농도보다 높았다. 이것은 고리 발전소 주변에서 채취한 시료들의 측정 결과와도 경향이 비슷하였다. 발생원별 중요도는

핵실험이 활발하였던 1950, 60년대에는 핵실험을 통해 대기로 방출된 삼중수소가 주요 선원항이었으나 현재는 우주선에 의한 삼중수소 발생이 자연 환경 방사능의 가장 중요하였으며, 핵실험에 의해 발생한 삼중수소는 많이 감소하여 국내 환경 중 삼중수소 농도는 점점 낮아지고 있다.

본 연구를 통하여 국내 환경 중의 삼중수소 농도를 지구 전체를 대상으로 하는 모델을 이용하여 구하였으며, 결과로서 고리 원자력발전소 주변 삼중수소 농도 중 일부가 원자력발전소가 아닌 다른 선원에 의한 것임을 확인하였다. 앞으로는 발전소 주변 환경을 격실로 나누고 원자력발전소로부터의 삼중수소를 선원항으로 활용하여 환경 중 삼중수소 농도를 이론적으로 추정하는 연구가 필요한 것으로 판단된다.

### 감사의 글

이 논문은 과학기술부의 원자력증장기사업의 일환으로 수행된 연구결과의 일부이며, 이에 감사드립니다.

### 참고문헌

1. A. J. P. Brundenell, C. D. Collins, and G. Shaw, "Dynamics of tritiated water (HTO) uptake and loss by crops after short-term atmospheric release," *J. Environ. Radioactivity*, 36, 197 - 218 (1997).
2. US EPA, *Environmental Analysis of the Uranium Fuel Cycle*, Part III, Nuclear Fuel Reprocessing, EPA-520/9-73-003-D, U. S. Environmental Protection Agency, Office of Radiation Programs, Washington, DC (October 1973).
3. H. Bonka, "Production and emission of tritium from nuclear facilities, and the resulting problems, in: Symposium on the Behaviour of Tritium in the Environment," 105 - 121, IAEA (1979).
4. National Council on Radiation Protection and Measurements, *Tritium in the Environment*, NCRP Report No. 62 (1979).
5. C. Easterly and Jacobs, D. G., "Tritium release strategy for a global system," in: *Proceedings of an International Conference on Radiation Effects and Tritium Technology for Fusion Reactors*, Vol.III, CONF-750989 (1975).
6. R. Bergman, U. Bergstroem, and S. Evans, "Environmental transport and long-term exposure for tritium released in the biosphere," in: *Symposium on the Behaviour of Tritium in the Environment*, 535 - 554, IAEA (1979).
7. R. Nishimura, S. Morisawa, and Y. Shimada, "Evaluation of the Japanese health risks induced by global fallout tritium," *Health Phys.* 65, 628 - 647 (1993).
8. 한국전력공사, 원자력발전소 방사선관리 연보, 146 - 151 (1999).
9. 한국원자력안전기술원, 원자력시설 주변 환경 조사 및 평가보고서, KINS/AR-735 (1999).
10. J. E. Till, H. R. Meyer, E. L. Etnier, E. S. Bomar, R. D. Gentry, G. G. Killough, P. S. Rohwer, V. J. Tennery, and C. C. Travis., *Tritium- An Analysis of Key Environmental and Dosimetric Questions*, ORNL/TM-6990 (1980).
11. Enviro QuantSci, AMBER 4.0 Reference Guide, Enviro QuantSci, Oxfordshire, U.K. (1998).
12. M. W. Carter and A. A. Moghissi, "Three decades of nuclear testing," *Health Phys.*, 33, 55 - 71 (1977).
13. S. Okada and N. Momoshima, "Overview of tritium: characteristics, sources, and problems," *Health Phys.*, 85, 597 - 609 (1993).