



삼중수소 섭취에 따른 내부피폭 선량평가 방법



정 규 환

방사선보건연구원

1. 서론

현재 국내 원자력법령 체계에서는 ICRP 60 신권고의 제도 반영으로 원자력관계시설에 종사하는 방사선 작업종사자에 대한 선량한도 적용시 유효선량 개념을 적용하도록 규정하고 있으며 2003년부터는 체외피폭선량과 체내피폭선량을 합산하여 정부에 보고하도록 규정하고 있다. 체내피폭 선량평가 결과의 대정부 보고를 위해서는 체내피폭 선량평가 방법과 그 결과에 대한 신뢰성을 확보하는 것이 급선무라 할 수 있다.

삼중수소 뿐만 아니라 방사선방호를 위한 모든 방사성 핵종의 체내피폭 선량평가 방법은 크게 In-vivo법과 In-vitro법으로 나눌 수 있으며 두 가지 방법은 상호 보완적으로 사용하여야 하나 인체 외부에서 방사선검출기로 체내의 방사능을 직접 측정하는 방식인 In-vivo 측정법으로 평가할 수 없는 방사성 핵종에 대해서는 생체시료 등을 분석하는 In-vitro

측정법(bioassay)을 사용하여 피폭방사선량을 평가해야 한다. 인체에 섭취(intake)된 삼중수소(Tritium, ^3H)는 In-vitro법으로만 평가할 수 있는 가장 대표적인 방사성 핵종이며 현재 국내 방사선작업자의 체내피폭선량에 가장 많은 기여를 하는 핵종이기도 하다.

우리 나라에는 678.7 MWe 용량의 가압중수로(CANDU)인 월성1호기가 83년부터 상업운전을 시작하여 가동중에 있고 700 MWe 급의 월성2,3,4호기가 건설되어 각각 '97, '98, '99년부터 상업운전을 개시하였으며 이에 따라 삼중수소에 의한 작업자의 총 집단선량은 가동연수가 증가할수록 늘어날 것으로 예상된다.

2. 삼중수소의 특징과 인체내 거동

삼중수소(^3H)는 독성이 강한 방사성 핵종은 아니지만 중수를 냉각·감속재로 사용하는 CANDU (CANadian Deutrium Uranium)

형 원자로에서 다량으로 생성되며 주로 물이나 수증기(tritiated water HTO)의 형태로 작업장에 분포하게 되므로 제거나 회수가 완전히 이루어질 수 없어 작업자들의 체내피폭에 기여하게 되고 이에 따라 삼중수소에 의한 중수로 원전 작업자의 피폭선량은 연간 총 집단피폭선량의 약 30% 정도를 차지한다. 삼중수소의 체내 잔류 시간은 나이와 계절에 따라 큰 영향을 받으며 개인차도 커서 동일한 조건에서도 개인에 따라 2배 이상의 차이가 날 수 있다. 보통 나이가 많아질수록 생물학적 반감기는 길어지며 여름보다는 겨울에 생물학적 반감기가 더욱 길어지는 경향이 있다. 삼중수소의 생물학적 반감기는 실험적으로 구해졌는데 90%의 신뢰도에 따른 분석 결과 9.5 ± 4.1 일로, 95%의 신뢰구간에서는 5일에서 14일까지로 알려져 있다¹⁾.

삼중수소는 화학적 특성이 물과 같으므로 호흡과 피부를 통해 섭취와 흡수가 이루어지며 섭취 후 수 시간이 지나면 전신의 체액에 골고루 분포한다. 체액으로 흡수된 삼중수소의 일부는 세포조직을 구성하는데 사용되며 조직에 흡수된 삼중수소는 체액내의 삼중수소보다 훨씬 긴 생물학적 반감기를 갖게 된다. 삼중수소에서 발생되는 베타선은 비정(range)이 짧기 때문에 (maximum track length in water 6.0 μm) 외부피폭에는 전혀 기여하지 않는다. 즉 사람의 피부는 20~100 μm 두께의 표피(epidermis)와 1~3 mm 두께의 진피(derma)로 구성되어 있는데²⁾ 피부암을 일으키거나 기타의 피부손상을 야기하는 표적세포(target cell)는 표피의 기저층과 진피층에만 존재하므로 삼중수소의 비정으로는 표적세포에 도달할 수 없기 때문이다.

체액내의 삼중수소는 체내의 생체분자중의 수소원자와 대사적으로(metabolically) 치환된다. 체내 삼중수소의 대사와 보류는 화학적 결합 형태에 따라 좌우되는데 체액내의 수소원자와 결합되어 있는 산소, 질소, 인, 또는 황 원자와 쉽게 치환되어 결합된다. 이러한 형태로 치환된 삼중수소는 치환이 가능한 삼중수소 결합(exchangeable bound tritium)이라고 한다. 삼중수소는 또한 생체분자의 탄소와 결합되어 있는 수소와 대사적으로 치환될 수 있다. 탄소와 결합되면 삼중수소는 쉽게 제거되지 않는데 이러한 결합을 쉽게 치환되지 않는 삼중수소 결합(nonexchangeable bound tritium) 또는 유기적으로 결합된 삼중수소(OBT - Organically bound tritium)라고 한다. 이렇게 결합된 삼중수소는 효소적인 붕괴(enzymatic breakdown) 방법으로만 분리될 수 있다. OBT 형태의 치환은 개념적인 설명만 가능하며 실험적으로 정량화 할 수 있는 방법이 아직 확립되어 있지 않았다.

삼중수소는 특정 결정장기가 없으므로 인체내의 모든 연조직이 Target Organ이 되고 삼중수소에서 방출되는 베타선과 Bremsstrahlung 방사선이 인체의 내부 피폭에만 기여한다.

삼중수소 화합물은 Tritiated Water (HTO), Tritium Gas (HT, T₂), Tritium Compounds - Insoluble Compounds, Labeled Organic Compounds, Labeled DNA Precursors의 3가지 범주로 구분할 수 있으며 이중 Tritiated Water (HTO)에 의한 피폭이 삼중수소 피폭방사선량의 거의 대부분을 차지하므로 여기서는 HTO만을 다루기로 한다.

표 1. 삼중수소의 물리 화학적 특성*

Properties	Value
Half-life	12.35 y
Decay constant	$5.6 \times 10^{-2} \text{ y}^{-1}$ $1.780 \times 10^{-9} \text{ s}^{-1}$
Nuclear recoil (^3He)	
Recoil energy	0 ~ 3 eV
Excitation energy	~ 11 eV
Characteristic of β^-	
Average energy	5.685 keV
Maximum energy	18.6 keV
Average track length (water)	0.56 μm
Maximum track length (water)	6.0 μm
Maximum track length (air)	5 mm
Lineal energy (peak)	~ 3 keV μm^{-1}
Lineal energy (range)	0.03 - 8 keV μm^{-1}

*Modified from Okada and Momoshima (1993).

표 2. 삼중수소의 주요 핵적 특성*

Properties	Value
Half-life	12.43 y
Specific Activity	9,545 Ci/g
Power Density	0.328 W/g
Activity Density	
T2 gas, 1atm, 0 °C	2.589 Ci/cm ³
T2 gas, 1atm, 25 °C	2.372 Ci/cm ³

*from <http://www.hfbr.bnl.gov/hfbrweb/h1079t2.gif>

표 3. 삼중수소의 생물학적 특성*

Properties	Value
Effective half-life (human)	
First component	10 d
Second component	40 d
Quality factor	1.0

*ICRP 56 (1989).

표 4. HTO 섭취에 따른 인체 내에서의 삼중수소 제거 반감기 연구 결과*

Reference	Number of Cases	Duration of the study	Biological Half-life (d)*		
			TBW	OBT ₁	OBT ₂
Butler and Leroy (1965)	310	-	4-18	-	-
Osborne (1966)	30	-	6.4-14.4	-	-
Sanders and Reinig (1968)	1	415	6.1	23.4	344
Snyders et al. (1968)	1	255	8.7	34.0	-
Balanov et al. (1974)	6	300	12	32-76	-
Pinson and Langham (1980)	9	-	11.3	-	-
Rudran (1988)	8	280	3.3-7.7	31-131	-
Trivedi et al. (1995a)	8	300	5.0-12.8	58-104	-

*Modified from Trivedi et al. (1995a); TBW, tritium in body water; OBT₁, tritium in OBT(Organic Bound Tritium) fraction 1; OBT₂, tritium in OBT fraction 2.

표 5. 중수로 내에서 삼중수소의 생성반응*

Pathway	Production Rate (Ci/MWe)		
Neutron Activation	Lithium contribution ${}^6\text{Li}(n,\alpha)\text{T}$ ${}^7\text{Li}(n,\alpha)\text{T}$	1.0	
	Boron contribution ${}^{10}\text{B}(n,2\alpha)\text{T}$ ${}^{10}\text{B}(n,2\alpha){}^7\text{Li}(n,\alpha)\text{T}$	0.0001	
	Deuterium (99.8% of D ₂ O) contribution Coolant system (60 Ci/MWe) Moderator system (2340 Ci/MWe)	2400	
	Helium contribution ${}^3\text{He}(n,p)\text{T}$	determined by the retention time of ${}^3\text{He}$ in the reactor core	
	Ternary fission	fission of ${}^{235}\text{U}$, ${}^{233}\text{U}$ and ${}^{239}\text{Pu}$	20**

*ICRP 56 (1989).

**Less than 1% of total tritium produced in CANDU reactors.

CANDU형 원자로에서는 감속재와 냉각재로 많은 양의 중수를 사용¹⁾하며 주로 출력 운전중 중성자속 조사에 의한 방사화로 삼중수소가 생성된다. CANDU형 원자로의 냉각재 및 감속재내의 삼중수소 농도는 가동 초기에 급격히 증가하다가 어느 정도의 시간이 흐르면 포화상태에 이르게 된다. 삼중수소의 생성

률은 이용률에 따른 중성자속에 의해 결정되는데 84%의 이용률에 근거하여 경험적으로 얻어진 삼중수소 재고량 평가식으로부터 구한 월성3,4호기의 삼중수소 농도 예측치는 다음의 표6과 같다. 여기서, 연간 중수손실은 5,000 kg으로 가정하였다.

표 6. 월성3,4호기 최종안전성분석보고서 표11.3-1의 계통내 삼중수소 농도 예측치*

방사능 시간(년)	삼중수소 방사능(Ci/kg)	
	냉각재 계통	감속재 계통
1	0.205	5.37
2	0.389	10.5
3	0.552	15.1
4	0.699	19.6
5	0.831	23.7
6	0.948	27.7
7	1.051	31.3
8	1.148	34.8
9	1.232	38.0
10	1.307	41.1
15	1.580	53.8
20	1.737	63.1
30	1.878	74.8
40	1.926	81.0
50	1.940	84.3

*84% 이용률의 발전소 운전에 근거한 누적치.

1) 월성1호기의 경우 초기 주입량은 약460톤

표 7. CANDU형 원자로에서의 평균 삼중수소 생성률 비교*

Station	Gross Capacity (MWe)	Tritium Production Rate** (Ci/MWe)	
		Coolant	Moderator
Pickering NGS-A	542×4	46	2305
Pickering NGS-B	542×4	49	2161
Bruce NGS-A	542×4	39	2485
Bruce NGS-B	542×4	38	2433
Darlington NGS	542×4	36	2532
Wolsung NPP no.1	542×4	50	2350

*Modified from Wong et al. (1984).

**Assuming 100% capacity factor.

표 8. 삼중수소의 연간섭취한도(ALI) 및 유도공기중 농도(DAC)

핵종	흡입				섭취		
	화학적 형태	연간 섭취한도	유도 공기중농도	배기중의 배출관리기준	화학적 형태	연간 섭취한도	배기중의 배출관리기준
		Bq	Bq/m ³	Bq/m ³		Bq	Bq/m ³
H-3	G,삼중수소가 결합된 물 (피부흡수 포함)	1E+09	3E+05	3E+03	삼중수소가 결합된 물	1E+09	4E+07
	G,유기적으로 결합된 삼중수소	5E+08	2E+05	2E+03	유기적으로 결합된 삼중수소	5E+08	2E+07
	G,원소상태의 삼중수소	1E+13	5E+09	4E+07			
	G,삼중수소가 결합된 매탄	1E+11	5E+07	4E+05			

3. 소변시료 분석결과로부터의 체내피폭방사선량평가

3.1 소변시료의 분석²⁾

일반적인 생체시료로 사용되는 시료의 종류는 혈액, 혈장 & 혈청, 뇨(尿), 분(糞), 조직 시

료 등이 있다. 소변시료 분석의 가장 큰 단점은 이동성 핵종(transportable radionuclides)만이 예측가능한 방법과 양으로 소변을 통해 배설(excreted)된다는 것이다. 흡입에 의한 방사성 핵종의 대부분은 이동성 핵종이 아니다. 즉, 폐로부터 혈액으로의 전이가 아주 일부분에 대해

2) from Noel Giffin Web Feb 7 15:55:12 PST 1996, http://www.triumf.ca/safety/rpt/rpt_8/node16.html

큰 변수를 가지고 일어나고 이로 인해 소변시료의 분석으로부터 체내 보유량(body contents)의 평가를 불가능하게 하거나 신뢰할 수 없게 한다. 따라서 소변시료 분석을 통한 선량평가에는 비 이동성 핵종 여부의 확인이 선행되어야 한다.

삼중수소는 소변을 포함해서 체액 내에 균일하게 분포하는 이동성 핵종이다. 이러한 경우 선량예탁(Dose Commitment)은 소변의 삼중수소 농도를 측정하여 직접적으로 평가할 수 있으며 이러한 방법은 통상 액체섬광계수법을 이용하여 수행된다.

3.2 시료준비와 생체시료의 측정³⁾

액체섬광계수기를 이용한 계측(LSC)에서 생체시료의 준비는 특별한 경우로 취급되어 왔다. 일반적으로 모든 생체시료에는 다른 종류의 시료에는 포함되어있지 않은 성분들을 포함하고 있기 때문이다. 따라서 이러한 시료들의 구성물 및 특징을 정확히 이해하여야 시료의 측정에 대한 정확성을 향상시킬 수 있다.

3.3 액체섬광계수기에 의한 측정

가. 물리적 Data

삼중수소(^3H)는 12.3년의 물리적 반감기를 가지고 베타 입자를 방출하며 ($E_{\max} = 18.7 \text{ keV}$) 안정한 원소인 헬륨(^3He)으로 붕괴하고 감마선의 방출은 동반하지 않는다. 방출되는 베타 입자의 에너지는 매우 낮으므로 HTO의 섭취 평가법에 소변시료의 액체섬광계수법(LS)이 주로 이용되는데 이 기술은 비교적 빠른 시료의 준비와 높은 효율을 제공하는 것으로 알려져

있다.

나. 계측 Protocol

전형적인 계측 Protocol은 상용 LS cocktail과 22 mL의 플라스틱 vial을 사용한다. 시료의 구성은 소변 0.5 mL와 10 mL의 LS cocktail을 완전히 섞는다. 이렇게 고정된 시료의 구성(4.8%)을 사용하면 삼중수소내의 유기물질의 소광(quenching)에 따라 계측효율은 45%에서 25%의 범위에 있게 된다. 계수율 data는 교정(quench) 곡선을 참고하여 해석한다. 많은 상용 LS 계수기는 시료 형태에 따라 다양한 교정 곡선을 사용자가 작성할 수 있도록 운영소프트웨어를 제공하고 있다.

다. 최소검출방사능 (MDA)

측정의 목적에 따라 계측 Protocol은 시료 구성, 계수효율, 최소검출한도 등을 최대화 할 수 있도록 최적화 할 수 있다. 일반적으로 MDA의 최소요건은 10^4 Bq/L ($0.3 \mu\text{Ci/L}$) 이하가 되어야 한다. 계산실례는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{MDA} &= \frac{1.645(2\sqrt{2N} + 1.645)}{\epsilon \times T} \\ &= \frac{4.65\sqrt{N} + 3}{\epsilon \times T} \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 시료와 blank에 대하여 모두 $T=60$ 초, $\epsilon=0.25 \text{ counts/s} \cdot \text{Bq}$, $N=20 \text{ counts/min}$ (i.e., blank 계수율이 1분간 20 counts)이면 MDA는 1.586 Bq/sample 이 된다. 하지만 MDA는 소변시료의 체적(0.5 mL)에 대한 보정을 해주어야 하고 실제적인 MDA (PMDA)

3) from Packard 2000. 4, 7 by Jock Thomson, Packard Instrument Company; 800 Research Parkway; Meriden; Connecticut 06450 <http://www.packardinstrument.com/cgi-bin/hazel.exe?a.../an9002-csr.ht>

또는 최소검출농도의 유도는 아래와 같이 할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{PMDA} &= \frac{\text{MDA}}{0.5 \times 10^{-3} \text{ L}} \\ &= 3.2 \times 10^3 \text{ Bq L}^{-1} \end{aligned} \quad (2)$$

위의 계산에 사용된 가정은 충분한 여유를 둔 것이므로 실험실에서 10^4 Bq/L ($0.3 \mu\text{Ci/L}$) 이하의 MDA 값은 쉽게 유지될 수 있어야 한다.

4. 만성섭취시에 따른 선량평가 방법 및 여러 가지 선량평가 모델 - 미국과 캐나다의 선량평가 알고리즘^{3,4)}

미국의 HPS-13.14와 캐나다의 Bioassay Guideline 2에서는 일련의 Bioassay 결과로부터 섭취형태에 따른 선량평가 방법을 개발하여 사용하고 있다. 선량평가에서 가장 근본적인 문제는 두 번의 시료측정 사이에 체내의 삼중수소 평균 농도가 얼마인가를 결정하는 것이다. 어떠한 경우에는 삼중수소에 의한 피폭선량이 선형 내삽법(Linear Interpolation)을 사용하여도 충분히 만족되는 시료채취 주기가 있고 다른 한편으로는 Exponential 곡선 보정을 해야 하는 경우도 있다. 이러한 방법상의 오차는 시료채취 주기와 시료의 농도, 개인별 신진대사 특성에 따라 좌우된다. 정확도 요건을 만족시키기 위해서도 다른 섭취 형태별 가정에 따라 다양한 평가 방법이 사용되며 섭취 형태는 다음의 네 가지 범주로 구분할 수 있다.

① 시료채취 주기 사이에 섭취가 일어나지 않을 경우

- ② 시료채취 주기 사이에 단 한번의 섭취가 발생했으며 그 섭취 시기를 알고 있는 경우
- ③ 시료채취 주기 사이에 한번 또는 그 이상의 섭취가 발생했으며 그 섭취 시기를 모를 경우
- ④ 시료채취 후 최종 예탁선량을 평가해야 할 경우

여기서 시료채취와 측정에 따른 오차는 무시한다. 이러한 오차는 피폭시간과 체내보유함수(retention function) 특성에 따른 불확실도에 비하면 무시할 만큼 작기 때문이다. 위의 4가지 상황에 따른 선량 평가식은 다음과 같이 유도할 수 있다.

1) 시료채취 주기 사이에 섭취가 일어나지 않을 경우

만일 시간 0와 T에서 각각 채취한 소변시료의 농도 C_0 와 C_T (MBq/kg) 사이에 한번의 삼중수소의 섭취도 없었다면

$$C_T = C_0 e^{-\lambda T} \quad (3)$$

가 되고 작업자가 받게 될 유효선량(H_{exp})은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} H_{\text{exp}} &= C_0 R \int_0^T e^{-\lambda t} dt \\ &= \left(\frac{C_0 R}{\lambda} \right) (1 - e^{-\lambda T}) \end{aligned} \quad (4)$$

여기서 $R = 58 \mu\text{Sv day}^{-1}/(\text{MBkg}^{-1})$ 은 선량환산 인자이고 식 (3)으로부터 $\lambda = (1/T) \ln(C_0/C_T)$ 로 표시할 수 있으므로 식 (4)는

$$H_{exp} = \frac{RT(C_o - C_T)}{\ln(C_o/C_T)} \quad (5)$$

로 다시 쓸 수 있다. 이 식은 다시 시료채취 주기가 짧을 경우 다음과 같은 식으로 대치할 수 있다.

$$H_{lin} = \frac{RT(C_o + C_T)}{2} \quad (6)$$

만일 시료채취 주기가 길어진다면 위 식에 의해 구해진 피폭선량은 과대평가 된다. 미국의 HPS-13.14에서는 시료채취 주기 사이에 섭취가 없다는 것이 확실할 경우(Single Intake or Acute Intake)에는 식 (5)를 사용하여 선량을 평가하도록 권장하고 있다.

2) 시료채취 주기 사이에 단 한번의 섭취가 발생했으며 그 섭취 시기를 알고 있는 경우

만일 시료채취 주기 T 사이의 시간 t에서 한번의 섭취가 발생했다면 선량평가 모델(exponential 모델)은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$H_{exp} = H_1 + H_2 = \left(\frac{RC_o}{\lambda_1}\right) (1 - e^{-\lambda_1 t}) + \left(\frac{RC_T}{\lambda_2}\right) (e^{\lambda_2(T-t)} - 1) \quad (7)$$

이때 $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_{avg} = \ln 2 / 10 \text{ days} (= 0.0693/\text{day})$ 라고 가정한다면 위 식은 다시 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$H_{exp} = \left(\frac{RC_o}{\lambda_{avg}}\right) [C_o(1 - e^{-\lambda_{avg} t}) + C_T(e^{\lambda_{avg}(T-t)} - 1)] \quad (8)$$

3) 시료채취 주기 사이에 한번 또는 그 이상의 섭취가 발생했으며 그 섭취 시기를 모를 경우

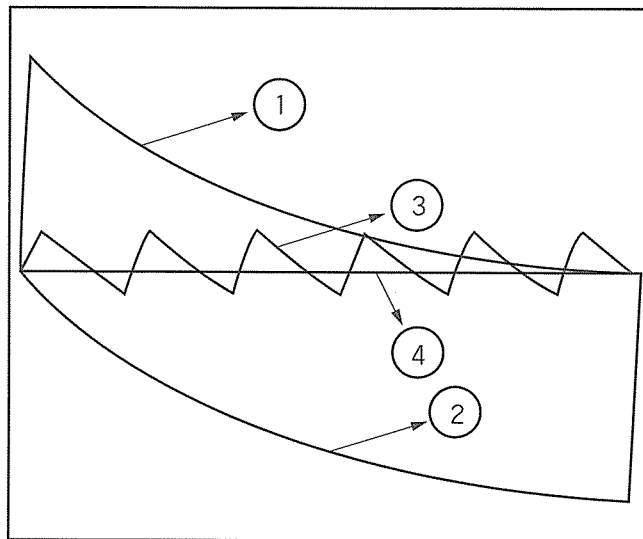


그림1. 섭취시기에 따른 소변 시료 농도 변화

그림1에서 C_0 와 C_T , T 만을 알고 있고 시료 채취 사이 C 의 변화는 알 수 없다면 다음과 같은 가정을 할 수 있다. 처음의 시료채취 후 곧 이어 섭취가 발생한 경우(곡선 1) 섭취량은 최대가 될 것이고 피폭선량은 다음과 같이 표현 될 수 있다.

$$H_{\max} = \left(\frac{RC_T}{\lambda_{\text{avg}}}\right) (e^{\lambda_{\text{avg}}T} - 1) \quad (9)$$

그러나 위의 선량평가 식은 매우 보수적인 가정에 근거한 것이므로 보다 합리적인 가정으로 섭취가 전 기간동안 균일하게 발생했다고 가정하면 피폭선량 평가식은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$H_{\text{avg}} = \frac{1}{T} \int_0^T H_{\text{avg}}(t) dt \quad (9)$$

$$H_{\text{avg}} = RC_0 \left[\frac{1}{\lambda_{\text{avg}}} - \frac{(1 - e^{-\lambda_{\text{avg}}T})}{\lambda_{\text{avg}}^2 T} \right] - RC_T \left[\frac{1}{\lambda_{\text{avg}}} - \frac{(e^{-\lambda_{\text{avg}}T} - 1)}{\lambda_{\text{avg}}^2 T} \right] \quad (10)$$

대개의 경우는 삼중수소의 섭취가 여러 번 있을 것이므로 곡선 3의 형태가 될 것이다. 만일 섭취가 만성적인 경우 적절한 선량평가식은 C_0 와 C_T 의 선형내삽 방법을 이용한 식(6)이 사용될 수도 있다. 일반적으로 선형내삽을 사용하기 위한 시료채취 사이의 주기는 14일을 초과하지 않아야 규제기관에서 요구하는 정확도 요건을 만족시킬 수 있다.

4) 시료채취 후 최종 예탁선량을 평가해야 할 경우

예탁유효선량(H_C)의 최대값은 삼중수소의 체내 유지 시간이 가장 긴 사람에게서 나타날 수 있다. 즉 생물학적 반감기는 최대, 붕괴상수는 최소일 때로 정의할 수 있으므로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$H_{C, \max} = \frac{RC_0}{\lambda_{\min}} \quad (11)$$

평균붕괴상수(λ_{avg} ; 0.0693/day)와 최소붕괴상수(λ_{\min} ; 0.05/day)의 정확도 차이는 50% 이내이므로 예탁유효선량(H_C)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$H_C = \frac{RC_0}{\lambda_{\text{avg}}} \quad (12)$$

연간 유효선량당량, H_A 는 주기적으로 감시된 모든 선량을 합하여 계산된다.

$$H_A = \sum_{i=1}^n H_i \quad (13)$$

여기서 H_i = 감시주기 I 기간동안 평가된 유효선량당량

n = 연간 평가된 회수

캐나다와 미국의 선량평가 알고리즘은 매우 유사하며 차이가 있다면 캐나다의 경우 일회성 급성 섭취시 삼중수소의 평균 유효반감기 10일에 근거하여 식 (4)를 적용, Exponential retention curve에 따라 선량을 평가하고 미국

의 경우에는 측정된 시료 농도 결과에 근거하여 개인별 고유 유효반감기를 고려하여 선량 평가를 한다는 점이 차이가 있다. 또한 미국의 규제 기준은 시료채취 주기사이에 단 한번

의 일회성 섭취가 있으며 그 시기를 알고 있을 경우에는 평균 유효반감기 10일에 근거한 식 (8)을 사용하여 선량을 평가한다는 점이 추가로 기술되어 있다. **KRIA**

참 고 문 헌

- 1) Butler, H.L. and J.H. Leroy, Observation of Biological Half-life of Tritium, Health Physics 11, 283-285 (1965).
- 2) Annals of the ICRP Publication 60, "1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection" International Commission on Radiological Protection.
- 3) 83-EHD-87, Bioassay Guideline2 ; Guidelines for Tritium Bioassay, Published by authority of the Minister of National(Canada) Health and Welfare, 1987.
- 4) HPS N13.14-1994, "Internal Dosimetry Programs for Tritium Exposure-Minimum Requirements", American National Standards Institute, 1994.