



ICRP 최근 생체동역학적 모델을 사용한 내부피폭선량평가

이태영, 이종일

한국원자력연구소 / 방사선안전관리실

1. 서론

국제방사선방호위원회(ICRP)의 1977년 권고⁽¹⁾ 이후부터 ICRP 1990년 권고⁽²⁾가 발간되기 전까지, 내부피폭선량 평가를 위한 개념적 기본은 ICRP 간행물 26과 ICRP 간행물 30^(3,4,5,6)에 기술된 각종 모델이었다. 그러나 ICRP 1990년 권고가 새로이 간행됨에 따라 1977년 권고에서 사용되었던 선량당량, 유효 선량당량 및 선질계수는 각각 등가선량, 유효 선량 및 방사선가중치로 바뀌었으며, 특히 조직가중치에서는 1990년 권고에서 특이할 만한 변화가 있었다. 이와함께 ICRP 간행물 30의 호흡기 모델을 개정한 신 호흡기모델이 ICRP 간행물 66⁽⁷⁾으로 발표되었다. 또한 ICRP 간행물 30의 생체동역학적 모델에 있어서도 일부 방사성핵종에 대해 개정이 있었으며, 이들 내용은 ICRP 간행물 56, 67, 68,

69, 71 및 72^(8,9,10,11,12,13)에 수록되어 있다.

그러나 유효선량의 개념이 국내 '방사선방호 등에 관한 규정'에 도입됨으로 인해 내부피폭선량평가가 바로 시행되어야 할 사항이지만, 국내 관련 산업체의 기술수준과 여건을 감안하여 내부피폭선량평가를 1998년부터 5년간 유보하고 2003년부터 적용토록 규정하고 있다. 따라서 본 논고의 목적은 방사성핵종의 섭취로 인한 내부피폭선량평가의 수행에 대비하고 관련 기술을 사용자에게 제공하기 위해 ICRP 최근 생체동역학적 모델을 기반으로 한 내부피폭선량평가 방법을 소개하는데 있다. 이를 위해 여기서는 내부피폭선량평가의 일반적 절차, 신체내 방사성핵종의 생체동역학적 모델 및 선량계산방법 등에 대해 기술한다.

2. 내부피폭선량 평가의 개요

내부피폭선량 평가의 일반적 절차는 그림 1

과 같다. 첫 단계에서는 in vivo법을 사용하여 체내에 존재하는 방사성핵종의 방사능을 측정하거나, 또는 in vitro법을 사용하여 배설물중의 방사성핵종의 방사능을 측정한다. 측정법의 선택은 예상 섭취핵종으로부터 방출되는 방사선의 종류에 따라 결정한다. 다음 단계에서는 방사능 측정결과를 사용하여 섭취량을 계산한다. 특수 또는 작업 모니터링의 경우는 식 (1)을, 그리고 모니터링 주기가 T인 일상 모니터링의 경우는 식 (2)를 사용하여 섭취량을 구한다⁽¹⁴⁾.

$$I = \frac{M}{m(t)} \quad (1)$$

$$I = \frac{M}{m(T/2)} \quad (2)$$

여기서 I는 섭취량(Bq), M은 섭취시점으로부터 t일 경과한 후에 측정된 방사능(Bq), m(t)는 단위 방사능의 급성 섭취후 t일 경과한 후에 있어서의 섭취 잔류/배설량을 나타낸다. 섭취량 계산에서 전신 또는 기타 장기(폐, 갑상선 등)중의 방사능을 측정할 경우는 해당 섭취잔류량(Bq)을 사용한다. 그리고 소변 또는 대변중의 방사능을 측정할 경우는 해당 섭취배설량(Bq/day)을 사용한다. 섭취후 1일부터 10일까지의 m(t)의 값이 ICRP 78에 제시되어 있다. 이 값은 국제방사선방호위원회(ICRP)에서 제시한 방사성핵종의 최근 생체동역학적 모델을 사용하여 구한 것이며, 이의 계산방법은 추후 논의한다.

마지막으로 섭취량 I가 구해지면 방사선작업종사자에 대한 예탁유효선량은 다음식을 사용하여 구한다.

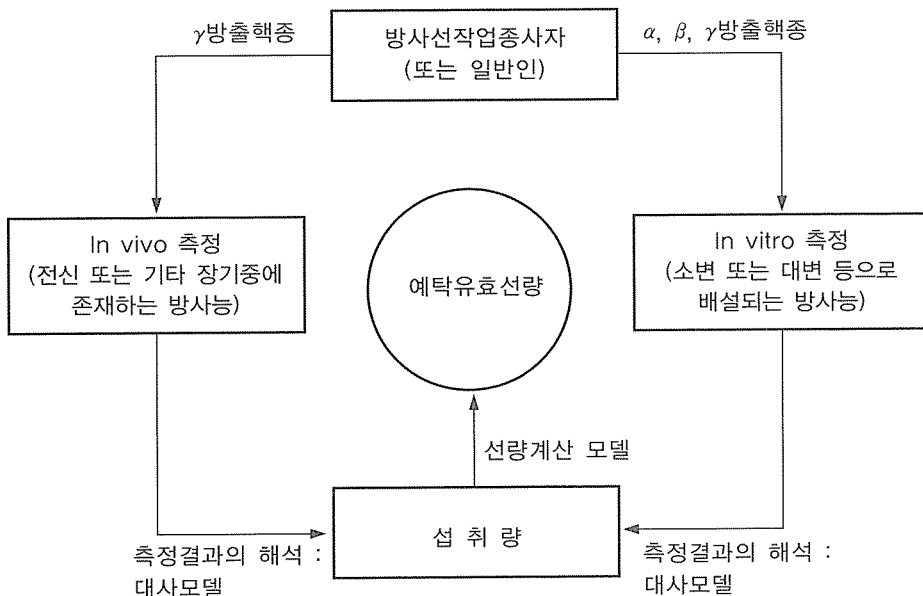


그림 1. 내부피폭선량 평가의 일반적 절차.

$$E = I \times e(50) \quad (3)$$

여기서 E는 예탁유효선량(Sv), e(50)는 방사선작업종사자의 경우에 대해 단위 섭취를 예탁유효선량으로 환산하는 유효선량계수(Sv/Bq)이며, 이 값은 섭취경로(흡입, 경구 등), 섭취핵종의 흡수거동 형태 및 입자크기 등에 따라 서로 다르며 BBS^[15]에 제시되어 있다. 이 값은 m(t)의 계산에서와 같이 ICRP에서 제시한 최근 생체동역학적 모델을 사용하여 구한 것이며, e(50)의 계산방법은 추후 논의한다.

3. 생체동역학적 모델

섭취량 또는 예탁유효선량으로 측정결과를 해석하기 위해서는 인체내에서의 방사성핵종의 생체동역학적 모델이 필요하다. 그림 2는 방사성핵종의 섭취경로, 인체내에서의 전이 및 배설 경로를 나타낸 것이다. 호흡기, 소화기, 피부 및 상처부위를 통해 인체내부로 유입된 방사성핵종은 체액흡수, 전이, 순환 또는 붕괴 등을 행한다. 따라서 여기서는 m(t)와 e(50)의 계산과 관련하여 ICRP에서 제시한 최근 생체동역학적 모델을 알아보기로 한다.

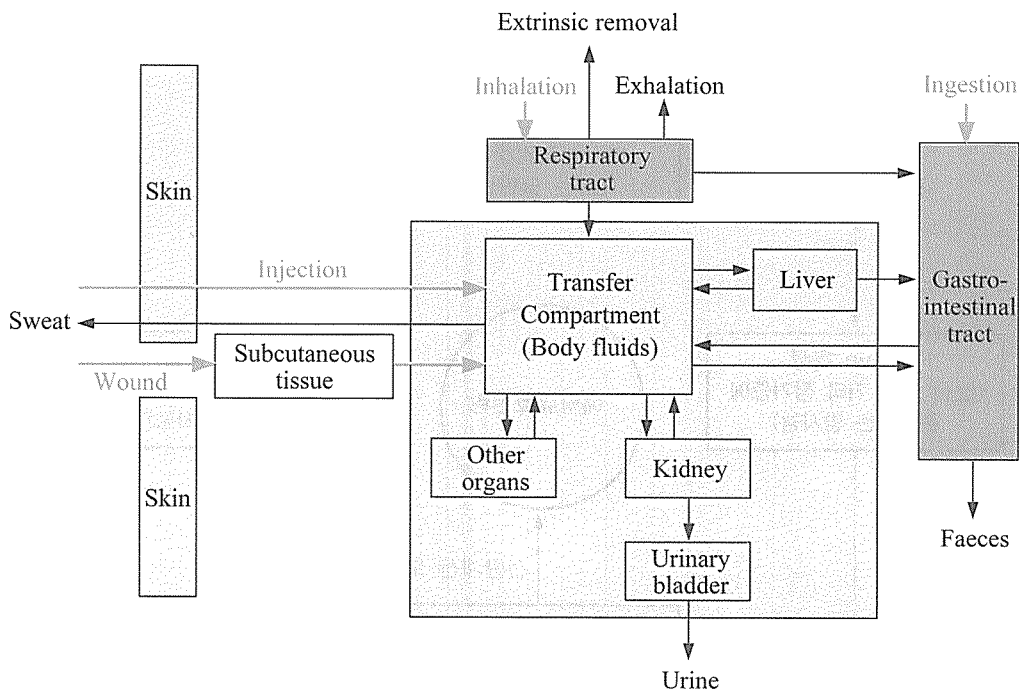


그림 2. 섭취, 전이 및 배설경로.

가. ICRP 66 호흡기 모델

1) 입자침착

ICRP 66 호흡기 모델에서는 도시메트리 목적을 위해 호흡기의 해부학적 영역을 ET₁ 영역과 ET₂ 영역으로 구성되는 비흉부(ET) 영역과 BB 영역, bb 영역 및 AI 영역으로 구성되는 흉

부(TH) 영역으로 구분하고 있다(그림 3).

ET 영역과 TH 영역에는 각각의 림프절(LNET, LNTH)이 포함되어 있다. 공기의 흡입 및 배출과정에서 호흡기 각 영역에의 입자 침착량의 계산은 ICRP 66 호흡기 모델에 주어진 침착모델에 기반을 둔다.

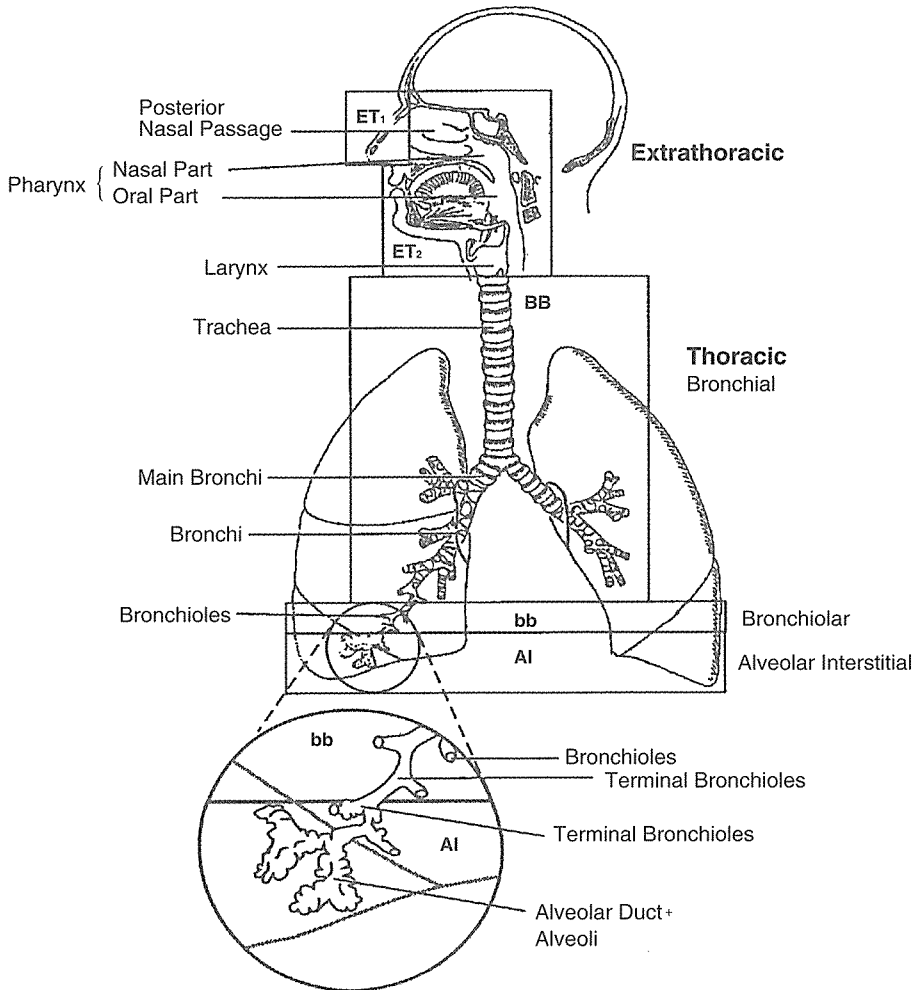


그림 3. ICRP 66 호흡기 모델에서 정의한 호흡기 영역.

이 모델에 따르면 다음에 주어지는 호흡기도의 형태계량 및 호흡생리 인자와 입자의 특성이 침착에 영향을 주는 것으로 나타나 있다.

• 형태계량인자

- ① ET 영역의 사각용적($V_D(ET)$)
- ② BB 영역의 사각용적($V_D(BB)$)
- ③ bb 영역의 사각용적($V_D(bb)$)
- ④ 선량산정 대상자(피검자)의 기도 직경과 표준성인남성과의 비 (SF_i)
- ⑤ 피검자의 첫 번째 세기관지 직경과 표준성인남성과의 비 (SF_b)
- ⑥ 피검자의 첫 번째 호흡세기관지 직경과 표준성인남성과의 비 (SF_a)

• 호흡생리인자

- ① 1회 환기량 (V_T)
- ② 호흡유량율 (\dot{V})
- ③ 기능적 잔기량 (FRC)

침착계산에 사용되는 형태계량 및 호흡생리 인자의 참조치는 ICRP 66의 표 15에 주어져 있다. 또한 ICRP 66에서는 신체활동준위를 호흡생리인자의 관점에서 4가지 종류의 신체

활동준위 즉, 수면, 휴식 착석, 경미한 운동 및 격한 운동으로 구분하여 이에 따른 호흡생리 인자의 값을 달리하고 있다. 예로 표준작업자의 경우 1일 표준작업으로 경미한 운동 5.5 시간, 휴식 착석 2.5 시간이 침착계산에 사용된다.

• 입자특성 인자

- ① 입자의 밀도(ρ)
- ② 입자의 공기역학적상계수(κ)
- ③ 공기역학적방사능증양경(AMAD)
- ④ 기하표준편차(σ_g)
- ⑤ 확산계수(D)

입자특성 인자의 경우에는 $\rho=3 \text{ g/cm}^3$, $\kappa=1.5$, 공중피폭의 경우 $AMAD=1 \mu\text{m}$ ($\sigma_g=2.47$), 직업피폭의 경우 $AMAD=5 \mu\text{m}$ ($\sigma_g=2.47$)를 침착계산에 참조치로 사용한다. 그림 4는 입자크기가 대수정규분포를 하는 경우 ICRP 66에 주어진 침착분율 계산식으로부터 얻어진 각 영역에의 침착분율을 나타낸 것이다. 이 결과는 입자특성 인자의 참조치를 사용하여 표준작업자에 대해 계산한 것이다.

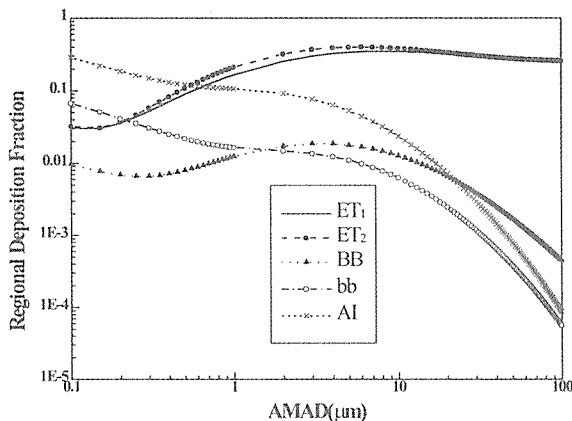


그림 4. AMAD의 함수로 주어지는 호흡기 각 영역에의 입자 침착분율.

2) 입자제거

호흡기로부터의 침착입자의 제거는 2가지 경쟁과정 즉, 입자수송과 혈액흡수에 기인한다. ICRP 66의 제거모델에서는 입자수송과 관련하여 ET_1 영역을 제한 모든 영역을 서로 다른 제거 반감기를 가진 몇 개의 격실로 다시 구분하여 시간 의존성 입자수송을 고려한다.

이의 관점에서 ET_2 영역은 ET_2 와 ET_{seq} 격실, BB 영역은 BB_1 , BB_2 및 BB_{seq} 격실, bb 영역은 bb_1 , bb_2 및 bb_{seq} 격실, AI 영역은 AI_1 , AI_2 , AI_3 격실을 구성한다. 시간 의존성 입자수송과 혈액흡수를 포함한 호흡기 제거 격실모델은 그림 5와 같다.

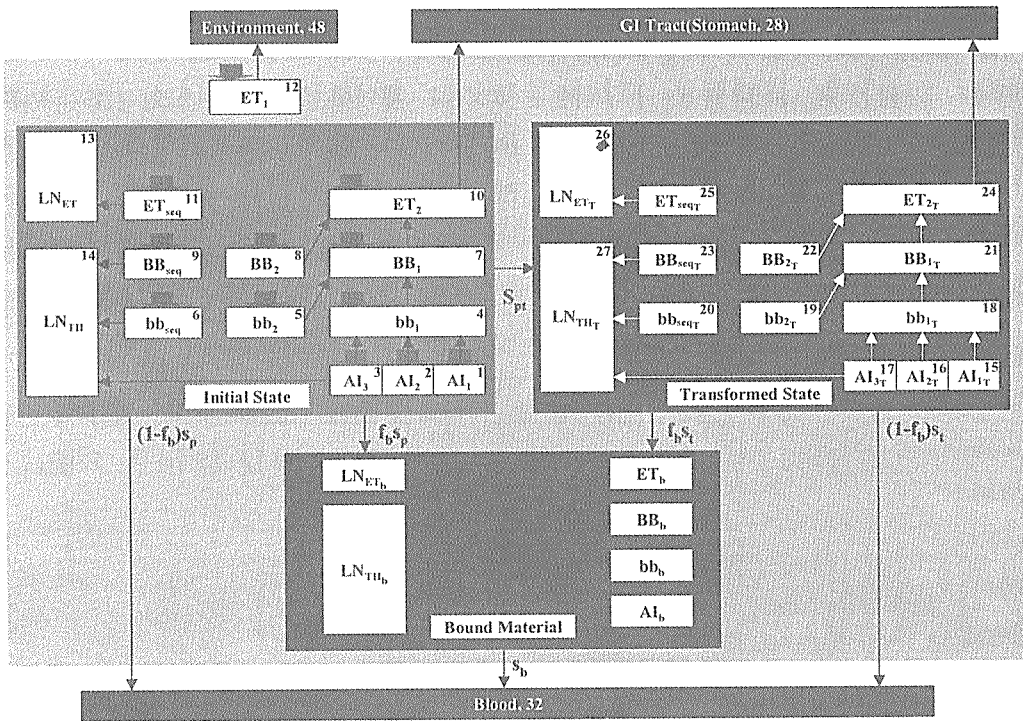


그림 5. 시간 의존성 입자수송과 혈액흡수를 포함한 호흡기 제거 격실모델.

이 모델에서 격실간 방사성핵종의 전이는 1차 동역학에 따른다. 격실모델에 대한 각 격실에서의 생물학적 반감기, 격실간 전이율 및 각 영역의 격실에의 침착비율은 ICRP 66의 표 17에 주어져 있다. 이의 값은 입자의 크기 및 물리화학적 형태와 무관하다.

혈액흡수는 침착지역과 관련이 없지만 침착입자의 물리화학적 형태와 관련이 있다. ICRP 66의 제거모델에서는 시간에 따른 흡수 거동을 나타내기 위해 흡수율을 3가지의 형태 즉, F(빠름) M(중간) 및 S(느림)로 구분하고 있다.

이와 관련하여 반감기와 흡수율은 다음과 같다.

- Type F : 10분(100%)
- Type M : 10분(10%) ; 140일(90%)
- Type S : 10분(0.1%) ; 7000일(99.9%)

그림 5에서 사용한 각종 기호와 이의 값은 ICRP 66의 표 18에 주어져 있다.

나. ICRP 30 소화기 모델

ICRP 30 소화기 모델에서는 그림 6과 같이 소화기를 4개의 구획으로 나누어, 각 구획을 하나의 격실로 고려하고 있다. 또한 격실간 방사성핵종의 전위는 1차 동역학에 따른다고

가정한다. 그림 6에서 λ_S , λ_{SI} , λ_{ULI} 및 λ_{LLI} 는 각각 위, 소장, 대장상부 및 대장하부에서의 생물학적 제거율을 나타내며 이의 값은 ICRP 30에 주어져 있다. 이 모델에서는 소화기로부터 체액으로의 전이 지역을 SI로 간주하고 있으며 체액으로의 전이율 상수 λ_B 는 다음식과 같이 주어진다.

$$\lambda_B = \frac{f_1 \lambda_{SI}}{1 - f_1} \quad (4)$$

f_1 는 체액에 도달하는 안정원소의 비율이며, 각 핵종에 대한 이의 값이 BBS⁽¹⁵⁾에 주어져 있다.

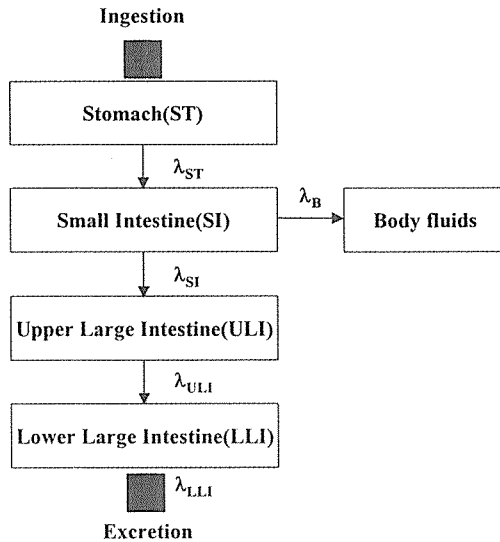


그림 6. ICRP 30 소화기 모델.

다. Systemic 모델

호흡기 또는 소화기에서 체액으로 흡수된 방사성핵종은 이의 특성에 따라 체액으로부터 장기 또는 조직으로, 장기 또는 조직으로부터 체액으로 전이되며, 또한 체외로 배설된다. 격

실간 전이는 1차 동역학에 따르며, 방사성핵종의 동역학을 나타내기 위한 모델과 자료는 ICRP 간행물 56, 67, 69, 71 및 72와 ICRP 간행물 30에 주어져 있다.

4. 섭취 잔류/배설량 및 총핵변환수 계산

섭취후 격실 i에서의 방사능 변화율은 격실 간 전이과정이 1차 동역학에 따른다고 하면 다음식과 같이 연립 선형 1차 미분방정식의 형태로 주어진다.

$$\frac{dq_i(t)}{dt} = \sum_{j=1(j \neq i)}^N r_{ji}q_j(t) - q_i(t) \sum_{j=1(j \neq i)}^N r_{ij} \quad (5)$$

여기서 N는 호흡기, 소화기 및 systemic 모델을 조합시켜 작성한 격실모델에서의 총 격실수, $q_i(t)$ 와 $q_j(t)$ 는 시간 t에서 각각 격실 i와 격실 j에 존재하는 방사능, r_{ij} 는 격실 j로부터 격실 i로의 전이율, r_{ji} 는 격실 i로부터 격실 j로의 전이율을 나타낸다. 식 (5)의 해를 구하고 섭취량을 I라 놓으면 격실 i에서의 섭취 잔류/배설량 $m_i(t)$ 는 다음식과 같이 계산된다.

$$m_i(t) = \frac{q_i(t)}{I} \quad (6)$$

$$m_i(t) = \frac{q_i(t) - q_i(t - \Delta t)e^{-\lambda \Delta t}}{I} \quad (7)$$

식 (6)은 in vivo 격실에서의 섭취잔류량, 식 (7)은 in vitro 격실에서의 섭취 배설량을 나타낸다. 그리고 식 (7)에서 Δt 는 생체시료의 수집 시간을 나타낸다.

격실 i에서의 T년동안의 총 핵변환수 $U_i(T)$ 는 식 (5)의 해로부터 다음식과 같이 계산된다.

$$U_i(T) = \int_0^T q_i(t) dt \quad (8)$$

단일 급성 흡입섭취인 경우에 대한 계산결과 의 예로 ^{239}Pu 에 대한 섭취 잔류/배설량을 그림 7 ~ 그림 9에 나타내었다. 이 결과는 eigensystem 방법을 사용하여 ODE(Ordinary Differential Equation) 해석기인 Mathcad 2000으로부터 구한 것이다.

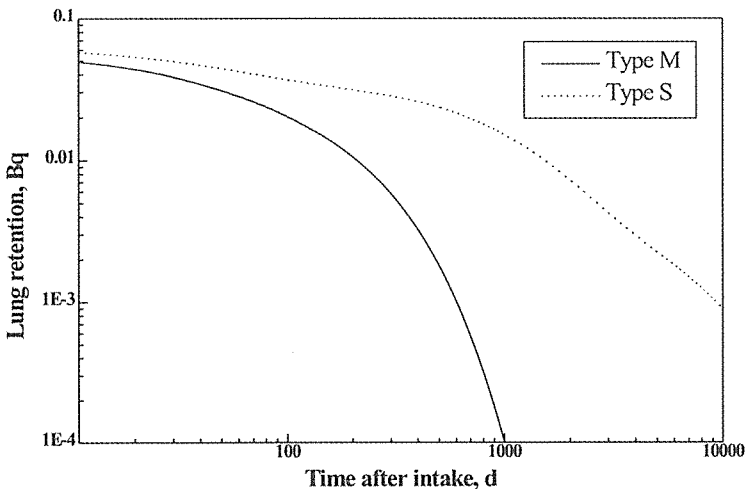


그림 7. 단일 급성 흡입섭취후 t시간 경과한 후에서의 섭취 잔류량(폐).

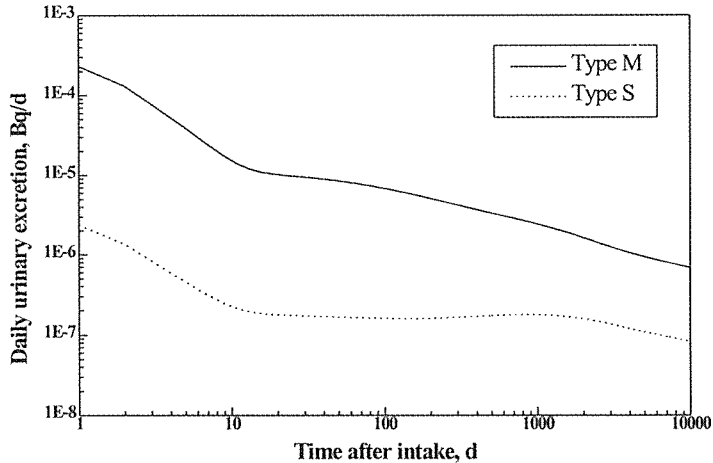


그림 8. 단일 급성 흡입섭취후 t시간 경과한 후에서의 섭취 배설량(소변).

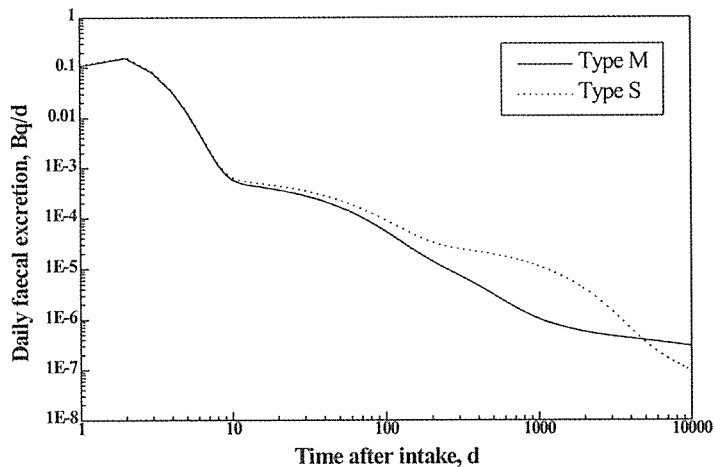


그림 9. 단일 급성 흡입섭취후 t시간 경과한 후에서의 섭취 배설량(대변).

5. 선량계산

방사선작업종사자의 경우 체내에 섭취된 방사성핵종에 의해 표적 장기 또는 조직 T가 50년 동안 받는 예탁등가선량은 다음식과 같이 주어진다.

$$H_T(50) = \sum_S U_S(50) SEE(T \leftarrow S) \quad (9)$$

여기서 U_S 는 급성 섭취후 선원장기 S에서 50년 동안의 총 핵변환수(Bq s), $SEE(T \leftarrow S)$ 는 선원장기 S에서 단위 핵변환당 표적 장기 또는 조직 T에서의 등가선량(Sv/Bq s)을 나타내며 이의 계산식은 다음과 같다.

$$SEE(T \leftarrow S) = \sum_R \frac{Y_R E_{RW} A F(T \leftarrow S)_R}{m_T} \quad (10)$$

여기서 Y_R 는 핵변환당 방사선 R의 방출분율 ($Bq\ s^{-1}$), E_R 는 방사선 R의 에너지(J), W_r 는 방사선 R의 방사선가중치, $AF(T-S)_R$ 는 선원장기 S에서 단위 핵변환으로부터 방출된 방사선 R이 표적장기 또는 조직 T에 흡수되는 에너지 분율, m_T 는 표적 장기 또는 조직 T의 질량(kg)이다.

방사선작업종사자에 대한 예탁유효선량 $E(50)$ 은 각 장기 또는 조직의 예탁등가선량에 해당 장기 또는 조직의 조직가중치를 곱하여 이를 모든 장기 또는 조직에 대해 합산한 양을 말하며 다음식과 같이 주어진다.

$$E(50) = \sum_{T=1}^{T=12} w_T H_T(50) + w_{remainder} H_{remainder}(50) \quad (11)$$

여기서 W_T 는 표 1에 주어진 장기 또는 조직 T에 대한 조직가중치, $H_T(50)$ 은 표 1에 주어진 장기 또는 조직 T의 예탁등가선량을 나타낸다. 그리고 $w_{remainder}$ 와 $H_{remainder}(50)$ 는 각각 기타 장기 또는 조직에 대한 조직가중치와 예탁등가선량을 나타내며 $H_{remainder}(50)$ 는 다음식과 같이 계산된다.

여기서 H_T 는 기타 장기 또는 조직중의 최고 예탁등가선량, H_{max} 는 표 1에 주어진 12개

장기 또는 조직중의 최고 예탁등가선량을 나타낸다. 기타 장기 또는 조직중의 하나가 표 1의 12개 장기 또는 조직중의 최고선량을 초과한 예탁등가선량을 받은 예외적인 경우에는 그 장기 또는 조직에 0.025의 가중치를 적용하고, 그 이외의 기타 장기 또는 조직에 대한 평균 예탁등가선량에 0.025의 가중치를 적용한다. 예로 $AMAD=5\ \mu m$ 인 ^{239}Pu Type M을 단위 흡입섭취한 경우에 대해 예탁등가선량과 예탁유효선량 즉, 유효선량계수(Sv/Bq)의 계산결과가 표 2에 주어졌다. 여기서 A는 비흡부 및 흡부 영역의 각 조직에 대한 하중계수를 나타낸다. $H_{Oesophagus}$ 는 H_{Thymus} 를 대신 사용하며, H_{Colon} 은 H_{ULI} 와 H_{LLI} 를 사용하여 계산한다⁽¹¹⁾.

$$H_{remainder}(50) = \frac{\sum_{T=1}^{T=10} m_T H_T}{\sum_{T=1}^{T=10} m_T}, \quad \text{if } H_T \leq H_{max} \quad (12)$$

$$H_{remainder}(50) = 0.5 \left[\frac{\sum_{T=i(T \neq T)}^{T=10} m_T H_T}{\sum_{T=i(T \neq T)}^{T=10} m_T} + H_T \right], \quad (13)$$

if $H_T > H_{max}$

표 1. 조직가중치

장기 또는 조직	조직가중치(w_T)	장기 또는 조직	조직가중치(w_T)
생식선 ¹	0.20	간	0.05
적색골수	0.12	식도	0.05
결장	0.12	갑상선	0.05
폐	0.12	피부	0.01
위	0.12	뼈표면	0.01
방광	0.05	기타 조직 ²	0.05
유방	0.05		

1. Hovaries와 Htestes중에서 더 높은 선량에 생식선의 가중치를 적용한다.

2. 나머지 조직은 부신, 뇌, 소장, 콩팥, 근육, 췌장, 비장, 흉선, 장궁, ET 기도로 구성된다.

표 2. 예탁등가선량 및 유효선량계수 계산 결과(흡입섭취 : ^{239}Pu Type M, AMAD= $5\mu\text{m}$)

Organ or tissue	H_T	A	$A \times H_T$	w_T	mass(g)	$H_T \times \text{mass(g)}$	H_T	w_T
<i>Adrenals</i>	1.659×10^{-6}				14	2.323×10^{-5}		
UB_Wall	1.660×10^{-6}			0.05			8.298×10^{-8}	
Bone_Sur	8.451×10^{-4}			0.01			8.451×10^{-6}	
<i>Brain</i>	1.659×10^{-6}				1400	2.323×10^{-3}		
Breasts	1.659×10^{-6}			0.05			8.297×10^{-8}	
ST_Wall	1.660×10^{-6}			0.12			1.992×10^{-7}	
<i>SI_Wall</i>	1.660×10^{-6}				640	1.063×10^{-3}		
<i>ULI_Wall</i>	1.667×10^{-6}							
<i>LLI_Wall</i>	1.682×10^{-6}							
<i>Kidneys</i>	5.831×10^{-6}				310	1.808×10^{-3}		
Liver	2.183×10^{-4}			0.05			1.091×10^{-5}	
ET ₁ -bas	1.660×10^{-6}	0.001	1.660×10^{-9}					
ET ₂ -bas	1.475×10^{-5}	0.998	1.472×10^{-5}					
LN _{ET}	2.238×10^{-6}	0.001	2.238×10^{-9}					
BBi-bas	5.245×10^{-6}	0.167	8.759×10^{-7}					
BBi-sec	5.128×10^{-5}	0.167	8.565×10^{-6}					
bbe-sec	2.379×10^{-5}	0.333	7.923×10^{-6}					
AI	9.955×10^{-6}	0.333	3.315×10^{-6}					
LN _{TH}	4.356×10^{-6}	0.001	4.356×10^{-9}					
<i>Muscle</i>	1.659×10^{-6}				28000	4.646×10^{-2}		
Ovaries	1.659×10^{-6}							
<i>Pancreas</i>	1.659×10^{-6}				100	1.659×10^{-4}		
R_Marrow	5.013×10^{-5}			0.12			6.015×10^{-6}	
Skin	1.659×10^{-6}			0.01			1.659×10^{-8}	
<i>Spleen</i>	1.659×10^{-6}				180	2.987×10^{-4}		
Testes	1.551×10^{-5}			0.20			3.102×10^{-6}	
<i>Thymus</i>	1.659×10^{-6}				20	3.319×10^{-5}		
Thyroid	1.659×10^{-6}			0.05			8.297×10^{-8}	
<i>Uterus</i>	1.659×10^{-6}				80	1.328×10^{-4}		
Composite Organs								
Lungs	2.068×10^{-5}			0.12			2.482×10^{-6}	
<i>ET</i>	1.472×10^{-5}				15	2.208×10^{-4}		
Colon	1.674×10^{-6}			0.12			2.008×10^{-7}	
Esophagus	1.659×10^{-6}			0.05			8.297×10^{-8}	
Remainder	8.216×10^{-6}			0.05			4.108×10^{-7}	
Effective dose coefficients(Sv/Bq), Type M							3.212×10^{-5}	

6. 결론

지금까지 ICRP 최근 생체동역학적 모델을 사용한 내부피폭선량 평가방법에 대해 알아 보았다. 내부피폭선량평가는 2가지 절차에 의해 행해진다. 하나는 측정이고, 다른 하나는 인체 내 방사성핵종의 생체동역학적 모델을 사용한

측정결과의 해석이다. 선량계산은 핵데이터에서 예탁등가선량을 구할 때까지의 일련의 과정이 복잡하므로 계산 코드를 사용하여야 한다. 이상과 같은 상황으로 볼 때 신뢰할 수 있는 내부피폭선량 평가코드를 개발하여 평가체제를 조속히 갖추는 것이 필요한 것으로 사료된다.



참 고 문 헌

1. International Commission on Radiological Protection, Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Publication No. 26, Pergamon Press, Oxford and new York (1977).
2. International Commission on Radiological Protection, 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Publication No. 60, Pergamon Press, Oxford and new York (1991).
3. International Commission on Radiological Protection, Limits for Intakes of Radionuclide by Workers, Publication No. 30, part 1, Pergamon Press, Oxford and new York(1979).
4. International Commission on Radiological Protection, Limits for Intakes of Radionuclide by Workers, Publication No. 30, part 2, Pergamon Press, Oxford and new York (1980).
5. International Commission on Radiological Protection, Limits for Intakes of Radionuclide by Workers, Publication No. 30, part 3(including Addendum to Parts 1 and 2), Pergamon Press, Oxford and new York (1981).
6. International Commission on Radiological Protection, Limits for Intakes of Radionuclide by Workers: An Addendum, Publication No. 30, part 4, Pergamon Press, Oxford and new York (1988).
7. International Commission on Radiological Protection, Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection, Publication No. 66, Elsevier Science, Oxford and New York(1994).
8. International Commission on Radiological Protection, Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 1, Publication No. 56, Elsevier Science, Oxford and New York(1989).
9. International Commission on Radiological Protection, Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 2, Ingestion Dose Coefficients, Publication No. 67, Elsevier Science, Oxford and New York(1993).
10. International Commission on Radiological Protection, Dose Coefficients for Intakes of Radionuclides by Workers, Publication No. 68, Elsevier Science, Oxford and New York(1994).
11. International Commission on Radiological Protection, Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 3, Ingestion Dose Coefficients, Publication No. 69, Elsevier Science, Oxford and New York(1995).
12. International Commission on Radiological Protection, Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 4, Inhalation Dose Coefficients, Publication No. 71, Elsevier Science, Oxford and New York(1995).
13. International Commission on Radiological Protection, Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 5, Compilation of Ingestion and Inhalation Dose Coefficients, Publication No. 72, Elsevier Science, Oxford and New York(1996).
14. International Commission on Radiological Protection, Individual Monitoring for Internal Exposure of Workers: Replacement of ICRP Publication No. 54, Publication No. 78, Elsevier Science, Oxford and New York(1997).
15. International Atomic Energy Agency, International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, Safety Series No. 115, IAEA Vienna(1999).