JOURNAL OF RADIATION INDUSTRY

Original article

17(4) : 437-442 (2023)
https://doi.org/10.23042/radin.2023.17.4.437

대한민국의 데이터를 활용한 국내·외 평가 방법론에 따른 축산물 취식 시 삼중수소 유효선량 평가 비교·분석

박제완[1], 김용민[1,*]

[1]대구가톨릭대학교 방사선학과

Comparative Analysis of Effective Dose Evaluation forTritium in Animal Product Ingestion According to Domestic and International Evaluation Methodologies Using Data from the Republic of Korea

JeWan Park[1] and YongMin Kim[1,*]

[1]Department of Radiological Science, Daegu Catholic University, Hayang-Ro 13-13, Hayang-Eup, Gyeongsan-si, Gyeongbuk 38430, Republic of Korea

Abstract This study conducted a comparative analysis of dose evaluations for ingestion of animal products based on data from nuclear power plants in the Republic of Korea, using methodologies from the Republic of Korea, 'IAEA TRS-472', and 'CSA N288.1:14'. The research focused on tritium, the most significant constituent among the gaseous and liquid radioactive emissions. The combined evaluation of tritium, in the form of tritiated water (HTO) and organically bound tritium (OBT), yielded results of 1.143 μSv y^{-1} for the Republic of Korea, 0.965 μSv y^{-1} for 'TRS-472', and 0.886 μSv y^{-1} for 'N288.1:14'. Despite the Republic of Korea's guidelines not considering OBT, the evaluation results for the Republic of Korea were higher compared to other methodologies. This discrepancy was attributed to the unique approach of not considering the moisture content per individual in the calculations of plant and feed concentration in the Republic of Korea and the simultaneous consideration of specific-activity model and transfer model. The study highlights the necessity of developing dose evaluation models tailored to regional characteristics and underscores the importance of including OBT in these evaluations.

Key words: Dose evaluation, Tritium, Republic of Korea, IAEA TRS-472, CSA N288.1:14

1. 서 론

2022년 한국의 월성 원자력발전소[1]에서는 총 기체 방사성물질 배출량 중 삼중수소(^{3}H)는 78.9% 비율로 배출되었고, 세부적으로 물의 형태인 'Tritiated Water (HTO)'로 92.9%, 가스 형태인 'Tritium gas (HT)'로 7.1% 배출되었다. 총 액체 방사성물질 배출량의 경우 ^{3}H가 99.94%의 비율로 전체 배출량의 대부분을 차지하였다.

방사성물질 배출량 중 가장 많은 비율을 차지하는 삼중수소는 환경에서 이동 중에 대부분 물의 형태인 HTO로 변환된다. 이후 체내에서 유기적으로 결합된 삼중수소인 'Organically Bound Tritium (OBT)'로 일부 전환되며, 최종

http://www.ksri.kr/
Copyright © 2023 by
Korean Society of Radiation Industry
*Corresponding author. YongMin Kim
Tel. +82-53-850-2522 E-mail. ymkim17@cu.ac.kr
Received 23 November 2023 Revised 7 December 2023 Accepted 11 December 2023

적으로 삼중수소는 체내에서 2가지의 형태를 가지게 된다. OBT는 탄소 결합에 의해 HTO에 비해 조직에 오랫동안 잔류하며 상대적으로 2배의 선량을 전달한다[2]. 그러나 체내에서 배설을 고려한다면 HTO가 체내에서 OBT로 전환될 확률은 0.1% 내외이다. 삼중수소는 환경에서 긴 반감기와 높은 이동도로 인해 빠른 농도평형을 이루며, 이러한 특성으로 인하여 국내·외에서는 삼중수소 선량평가 시에 대다수의 방사성핵종을 평가할 때 사용되는 일방향적인 '전이 모델(transfer model)'이 아닌, '비방사능 모델(specific-activity model)'을 사용하여 평가하고 있다. 전이 모델은 핵종의 전체 비율에서 개체별 전이계수만큼의 핵종이 이동하고 남은 양은 잔류되는 개념을 뜻하며, 비방사능 모델은 전체 지역에 대하여 농도 평형을 이루어 일정량의 핵종이 매개체를 통하여 이동된다 하더라도 전체 방사능 농도가 일정하게 유지되는 개념을 뜻한다. 국내의 경우는 사료를 포함한 식물에서 동물로의 삼중수소 이동 시에는 전이 모델을 사용하고 있다.

최근 후쿠시마 삼중수소 오염수 방출 이슈와 관련하여 국제적으로 환경영향 평가에 대한 관심이 지속적으로 증가하는 상황 속에서, 본 연구는 IAEA의 'TRS-472'와 Canada CSA Group의 'N288.1:14' 및 한국 규제기관의 선량평가 방법론에 따라 삼중수소의 방사능 농도 계산 방법에 따른 최종 농도값을 비교하고, 한국의 월성 원자력발전소 데이터를 적용하여 축산물 취식 시 유효선량을 평가하였다.

2. 재료 및 방법

한국의 규제기관인 한국원자력안전기술원(KINS)은 미국의 'Nuclear Regulatory Research (U.S.NRC)'의 선량평가 규정인 'Reg. Guide 1.109, 1.111, 1.112, 1.113 [3-6]'을 참고하여 규제지침[7]을 작성하였다. 국제원자력기구(International Atomic Energy Agency, IAEA)는 'Technical Report Serise no. 472 (TRS-472) [8]'를 통해 '육상 및 담수 환경의 방사성핵종 이동 예측을 위한 매개변수값 핸드북'을 발표하였으며, 특히 삼중수소를 별도의 챕터로 구분해 농도 계산에 대한 방법을 상세히 기술하였다. 캐나다의 Canadian Standards Association (CSA)은 'CSA N288.1:14'를 통해 캐나다형 중수로 원자력시설인 CANDU 원자력발전소에 대해 '정상 운영 시 기체 및 액체 방사성물질 계산 가이드라인[9]'을 발표하였다. 각 방법론 모두 삼중수소에 대한 평가 방법에서 기본적으로 비방사능 모델을 적용하며, 한국의 방법론은 OBT에 대한 고려가 누락되어 있다는 점과 사료 및 식물에서 동물로의 이동 시 삼중수소와 ^{14}C에 비방사능 모델이 아닌 전이 모델을 사용하는 점에서 차이를 보인다.

취식 시 선량평가를 위한 큰 틀은 동일하다. 평가 지점의 기체 및 액체 방사성핵종의 방사능 농도를 측정하고 HTO 및 OBT 농도를 구하는 Eq. (1~5)를 통하여 각 방법론에서 고려하는 인자를 적용해 최종 농도값을 계산한다. 그 후 사람의 음식 취식량, 선량환산계수를 적용하여 유효선량을 도출한다. 다만, 축산물에 대한 선량평가 시에는 기체 및 액체상 방사성물질 배출로부터 비롯된 동물의 음용수 계산과 같이 복잡한 메커니즘이 추가되어 방사능 농도 계산 시 기체 및 액체를 함께 고려하여야 한다. 본 연구에서는 2022년 월성 원자력 발전소 5 km 이내 부지 주변 측정 지역 중 방사능 농도값이 가장 높은 5.03 Bq m^{-3} [1]으로 연구를 수행하였으며, 동물의 취식 시점의 음용수 내 방사능 농도는 각 평가 방법론에 동일하게 설정하여 수행하였다.

2.1. 한국 규제지침의 축산물 농도 계산식

$$C_{HTO} = C_{aT}(0.75)(0.5/H_a)F_{Tp} + C_{Tw}\frac{(1-f_w)Q_w + (1-f_f)Q_f}{Q_w + Q_f} \quad (1)$$

2.2. IAEA TRS-472의 축산물 농도 계산식

$$C_{HTO} = CR_{a,HTO}\cdot(0.5\cdot C_{sw,HTO} + 0.5\cdot\frac{C_{pasture,HTO}}{WC_p}) \quad (2)$$

$$C_{OBT} = CR_{a,OBT}\cdot(1-WC_p)\cdot\frac{WE_p\cdot R_p\cdot C_{f,HTO}}{WC_p} \quad (3)$$

2.3. CSA N288.1:14의 축산물 농도 계산식

$$C_{HTO} = C_{aT}\cdot((f_{w_sw})\cdot(1-DW_a)/H_a + (C_{pasture,HTO}\cdot k_{af}\cdot((1-f_{OBT})\cdot f_{w_pw} + 0.5\cdot f_{w_dw}) \cdot(1-DW_a)/(1-DW_p)) + C_{Tw}\cdot(k_{aw}\cdot f_{w_w}\cdot(1-DW_a)) \quad (4)$$

$$C_{OBT} = C_{aT}(f_{w_sw}\cdot(1-DW_a)/H_a\cdot f'_{OBT} + C_{pasture,HTO}\cdot k_{af}\cdot(f_{OBT}\cdot f_{w_pw}+0.5\cdot f_{w_dw})\cdot DW_a\cdot WE_a/(DW_p\cdot WE_p)) + C_{Tw}\cdot(k_{aw}\cdot f_{w_w}\cdot(1-DW_a)\cdot f'_{OBT}) \quad (5)$$

- C_{HTO}: HTO의 농도(Bq kg^{-1}), C_{OBT}: OBT의 농도(Bq kg^{-1})
- C_{aT}: 공기 중 HTO 농도(Bq m^{-3}), C_{Tw}: 관개수 내 HTO 농도(Bq L^{-1})
- F_{Tp}: 전이계수(day kg^{-1}, day L^{-1}), H_a: 절대 습도(kg m^{-3})
- $1-f_w$: 음용수 오염비(-), $1-f_f$: 사료 오염비(-)
- Q_w: 음용수 취식량(L day^{-1}), Q_f: 사료 취식량(kg day^{-1})
- CR_a: 수분 섭취 시점과 축산물 내의 삼중수소 농도 비(L kg^{-1})
- $C_{sw,HTO}$: 토양수의 HTO 농도(Bq L^{-1}), $C_{pasture,HTO}$: 목초의 HTO 농도(Bq kg^{-1})
- WC_p: 식물의 수분비(L kg^{-1}), WE_p, WE_a: 농축산물의 물 등가 계수(L kg^{-1})
- $C_{f,HTO}$: 사료의 HTO 농도(Bq kg^{-1}), DW_p, DW_a: 농축산물의 건조/생 중량비(kg kg^{-1})
- f'_{OBT}: 동물의 HTO당 OBT 비(-)
- $f_{w_sw,dw,pw}{}'_{OBT}$: 동물의 흡입 및 피부 흡수, 유기적 대사 분해, 사료에서 파생된 수분 섭취량의 비(-)

방사능 농도값을 제외한 모든 데이터 값은 동일한 기준을 두고 평가하기 위하여 한국의 규제지침에 제시된 성인에 대한 값을 사용하였다. 습도, 취식량, 사료의 오염비 및 사료에서 축산물로의 전이계수에 대한 대표값은 Table 1과 같으며, 선량환산계수의 경우 한국의 규제지침에서 적용하고 있는 'ICRP 72 [2]'의 값을 사용하였다. OBT와 관련된 입력 인자값은 국내 지침에 수록되어 있지 않아, 각 방법론 문헌에 제시된 값을 사용하였다.

선량평가를 위해 스프레드 시트 형태로 개발한 주민 피폭선량평가 프로그램(Figs. 1, 2)을 사용하였다. 개발한 프로그램은 농도 계산을 위한 인자를 입력하면 모든 방사성 핵종에 대해 경로별 농도가 계산되며 이후 취식량, 오염비, 선량환산인자, 전이계수 등 기본적으로 입력된 Dataset을 통해 등가선량, 유효선량 및 선량 기여도를 계산한다.

Table 1. Values of factors used for dose evaluation

Absolute humidity [kg m^{-3}]	0.006			
Relative humidity [%/100]	0.7			
Contamination rate of feed [-]	0.76			
	Beef	Milk	Pork	Chicken
Adults' ingestion of animal products [kg y^{-1}]	15.7	73.2	28.8	26.6
Transfer factor of ^{3}H [day kg^{-1}, day L^{-1}]	0.012	0.01	0.012	0.012
Transfer factor of ^{14}C [day kg^{-1}, day L^{-1}]	0.031	0.012	0.031	0.031

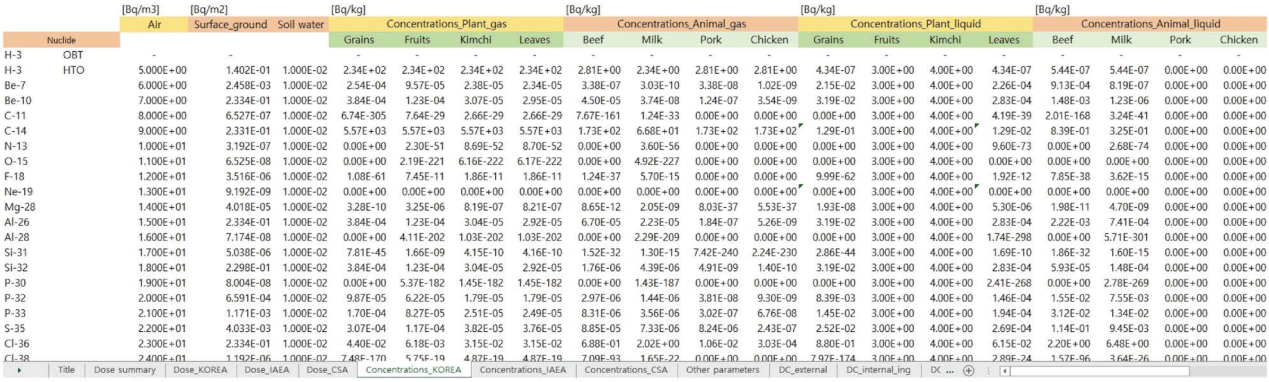

Fig. 1. Schematic diagram of the screen for extracting radioactive concentration from the resident exposure dose evaluation program.

↓ Age	Evaluation Click															
Adult																
↓ KINS 규제지침 2.2	[uSv/y]	Dose														
Crops_internal_air	↓ Type	Gonads	Breast	Lungs	RedMarrow	Stomach	Colon	Thyroid	Bladder	Liver	Esophagus	BoneSurface	Remainder	Effective	Skin	Contribution(%)
H-3	HTO	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	3.571
Be-7		1.100E+00	1.100E+00	1.100E+00	1.100E+00	1.100E+00	1.100E+00	1.100E+00	1.100E+00	1.100E+00	1.100E+00	1.100E+00	1.100E+00	1.100E+00	1.100E+00	3.929
C-11		1.200E+00	1.200E+00	1.200E+00	1.200E+00	1.200E+00	1.200E+00	1.200E+00	1.200E+00	1.200E+00	1.200E+00	1.200E+00	1.200E+00	1.200E+00	1.200E+00	4.286
C-14		1.300E+00	1.300E+00	1.300E+00	1.300E+00	1.300E+00	1.300E+00	1.300E+00	1.300E+00	1.300E+00	1.300E+00	1.300E+00	1.300E+00	1.300E+00	1.300E+00	4.643
F-18		1.400E+00	1.400E+00	1.400E+00	1.400E+00	1.400E+00	1.400E+00	1.400E+00	1.400E+00	1.400E+00	1.400E+00	1.400E+00	1.400E+00	1.400E+00	1.400E+00	5.000
I-131		1.500E+00	1.500E+00	1.500E+00	1.500E+00	1.500E+00	1.500E+00	1.500E+00	1.500E+00	1.500E+00	1.500E+00	1.500E+00	1.500E+00	1.500E+00	1.500E+00	5.357
Cs-137		1.600E+00	1.600E+00	1.600E+00	1.600E+00	1.600E+00	1.600E+00	1.600E+00	1.600E+00	1.600E+00	1.600E+00	1.600E+00	1.600E+00	1.600E+00	1.600E+00	5.714
Mg-28		1.700E+00	1.700E+00	1.700E+00	1.700E+00	1.700E+00	1.700E+00	1.700E+00	1.700E+00	1.700E+00	1.700E+00	1.700E+00	1.700E+00	1.700E+00	1.700E+00	6.071
Al-26		1.800E+00	1.800E+00	1.800E+00	1.800E+00	1.800E+00	1.800E+00	1.800E+00	1.800E+00	1.800E+00	1.800E+00	1.800E+00	1.800E+00	1.800E+00	1.800E+00	6.429
Si-31		1.900E+00	1.900E+00	1.900E+00	1.900E+00	1.900E+00	1.900E+00	1.900E+00	1.900E+00	1.900E+00	1.900E+00	1.900E+00	1.900E+00	1.900E+00	1.900E+00	6.786
Si-32		2.000E+00	2.000E+00	2.000E+00	2.000E+00	2.000E+00	2.000E+00	2.000E+00	2.000E+00	2.000E+00	2.000E+00	2.000E+00	2.000E+00	2.000E+00	2.000E+00	7.143
P-32		2.100E+00	2.100E+00	2.100E+00	2.100E+00	2.100E+00	2.100E+00	2.100E+00	2.100E+00	2.100E+00	2.100E+00	2.100E+00	2.100E+00	2.100E+00	2.100E+00	7.500
P-33		2.200E+00	2.200E+00	2.200E+00	2.200E+00	2.200E+00	2.200E+00	2.200E+00	2.200E+00	2.200E+00	2.200E+00	2.200E+00	2.200E+00	2.200E+00	2.200E+00	7.857
S-35	organic	2.300E+00	2.300E+00	2.300E+00	2.300E+00	2.300E+00	2.300E+00	2.300E+00	2.300E+00	2.300E+00	2.300E+00	2.300E+00	2.300E+00	2.300E+00	2.300E+00	8.214
Cl-39		2.400E+00	2.400E+00	2.400E+00	2.400E+00	2.400E+00	2.400E+00	2.400E+00	2.400E+00	2.400E+00	2.400E+00	2.400E+00	2.400E+00	2.400E+00	2.400E+00	8.571
Cr-48	f1=0.2	2.500E+00	2.500E+00	2.500E+00	2.500E+00	2.500E+00	2.500E+00	2.500E+00	2.500E+00	2.500E+00	2.500E+00	2.500E+00	2.500E+00	2.500E+00	2.500E+00	8.929

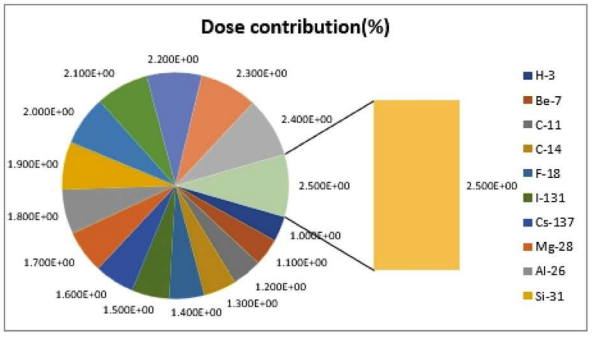

Fig. 2. Schematic diagram of the screen for extracting dose from the resident exposure dose evaluation program.

Table 2. Tritium concentrations in animal products at the evaluation sites

Concentration of HTO [Bq kg^{-1}]	Beef	Milk	Pork	Chicken
Republic of Korea	6.18×10^2	6.17×10^2	5.82×10^2	3.21×10^2
IAEA TRS-472	3.23×10^2	4.26×10^2	3.23×10^2	3.23×10^2
CSA N288.1:14	3.44×10^2	4.41×10^2	2.45×10^2	3.45×10^2
Concentration of OBT [Bq kg^{-1}]	**Beef**	**Milk**	**Pork**	**Chicken**
Republic of Korea	–	–	–	–
IAEA TRS-472	2.87×10^1	1.72×10^1	2.87×10^1	2.87×10^1
CSA N288.1:14	4.39×10^1	1.82×10^1	5.17×10^1	4.23×10^1

3. 결 과

상기 계산식을 통해 계산된 평가 지점의 축산물 내 삼중수소 방사능 농도값은 Table 2와 같다. 한국의 경우 삼중수소를 통한 피폭선량 계산 시 OBT를 고려하고 있지 않아 해당 농도값은 제외되었다. 한국의 평가 방법론에 따른 농도값은 6.18×10^2 Bq kg^{-1}으로 'TRS-472'의 3.23×10^2 Bq kg^{-1}과 'N288.1:14'의 3.44×10^2 Bq kg^{-1}에 비해 약 2배의 차이가 나타난다. 이는 공기에서 식물로의 수분비를 한국은 모든 식물 개체(사료 포함)에 대해 75% 값을 적용하고 있고 'TRS-472'와 'N288.1:14'의 경우 측정에 기반한 개체별 수분비를 반영하여 사료의 수분비를 12%로 적용하는 것에 기인한다. 이 점을 고려한다면 물의 형태인 HTO가 크게 영향을 받아 한국의 삼중수소 농도값이 크게 나타났음을 확인할 수 있다. 국내의 소고기 내 농도의 경우 소의 음용수 취식량과 높은 사료의 수분비에 의하여 다른 개체와 비교해 농도 편차가 높게 계산되었다. 또한 한국은 사료를 포함한 식물에서 축산물로의 방사성핵종 이동 시 비방사능을 통한 농도평형이 아닌 전이 모델을 사용하고 있다. 따라서 해당 파라미터의 차이를 종합할 때, 농도의 편차가 타 문헌의 방법론에 비해 크게 나타난다.

위의 삼중수소 농도로부터 도출된 사람의 축산물 취

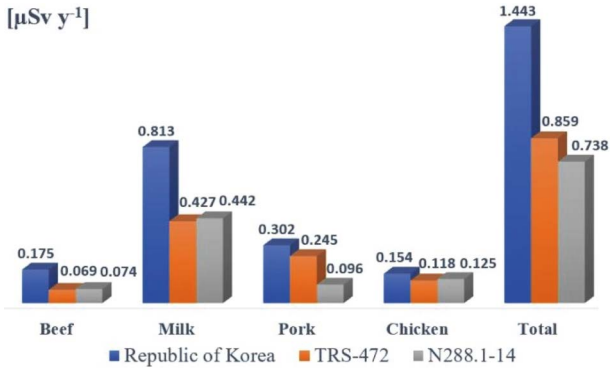

Fig. 3. Evaluation results of tritium effective dose considering only HTO from animal products ingestion.

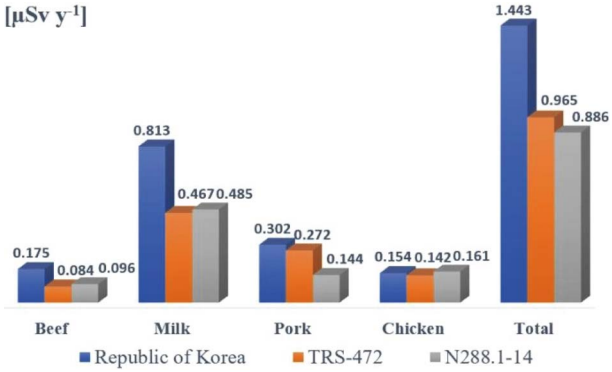

Fig. 4. Evaluation results of tritium effective dose considering both HTO and OBT from animal products ingestion.

식 시 유효선량의 최종 평가값은 Figs. 3, 4와 같다. HTO만을 고려한 축산물 취식 시 삼중수소의 유효선량(Fig. 3)은 한국의 경우 1.443 μSv y^{-1}, 'TRS-472'는 0.859 μSv y^{-1}, 'N288.1:14'는 0.738 μSv y^{-1}로 평가된다. 한국의 전이 모델을 사용한 농도값에서 타 방법론에 비해 2배 이상 높은 값을 나타내었기에 이러한 결과값이 확인되었다. OBT를 포함한 삼중수소 유효선량(Fig. 4)에서는 한국의 경우 OBT를 고려하지 않고 있기 때문에 동일하게 1.443 μSv y^{-1}, 'TRS-472'의 경우 0.965 μSv y^{-1}로 전체 대비 11.0%에 해당하는 0.11 μSv y^{-1}가 증가하였다. 'N288.1:14'의 경우 0.886 μSv y^{-1}로 HTO만을 고려했을 때와 비교하여 전체 대비 16.7%에 해당하는 0.15 μSv y^{-1}가 증가하였다.

4. 고 찰

국내의 경우 OBT를 고려하지 않았음에도 사료 내 HTO 수분비의 높은 설정으로 인해 선량평가 시 보수적으로 과대평가되는 경향을 보였다. 또한, OBT를 포함한 선량값과 비교하여도 큰 차이를 나타내었다. 현재 사료에 대해 75%로 설정된 수분비를 실제 측정된 값인 12%로 조정한다면, 선량값의 차이는 'TRS-472' 및 'N288.1:14'와 비교하여 크게 작아질 것으로 판단된다. 규제적인 측면에서 보수적으로 평가되는 것은 옳은 방향이나 1.5배 이상의 보수적인 평가는 최신 평가 방법론을 바탕으로 한 업데이트에 대한 고려를 검토해 볼 필요가 있다.

본 연구에서는 공기 중 HT가 환경에서 이동 중에 전부 HTO로 변환되었다고 가정하고 연구를 수행하였다. IAEA와 CSA에서는 HT에 대하여 공기 중 HT 농도와 식물 내 HTO 농도비를 통하여 계산하는 방법을 제시하고는 있으나, 해당 방법을 통한 선량 기여도는 0.15% 수준이다. 그리고 측정 지점의 식물 개체로부터 수행된 실험을 통해 도출된 값이므로 국내 데이터에 적용해 평가하기에는 적절하지 않다. 그러나 한국의 각 원자력발전소 지역에 맞는 세부적인 데이터 수집이 가능해진다면 국외 문헌의 내용을 반영하여 최종 선량에 대한 기여도를 평가해 볼 여지는 충분하다.

5. 결 론

본 연구는 한국의 월성 원자력발전소 데이터를 활용하여 'IAEA TRS-472', 'CSA N288.1:14' 및 한국의 규제지침 평가 방법론 중 '기체 및 액체 방사성물질 배출로 인한 축산물 취식 시 삼중수소로 인한 선량평가'에 중점을 두고 전이 모델과 비방사능 모델 사용에 따른 평가 결과를 비교·분석하였다.

삼중수소 평가 결과에서 한국의 축산물 선량평가는 국외의 타 방법론과 비교하여 높은 선량 차이를 보였다. 국내의 경우 OBT를 포함하고 있지 않음에도 불구하고 OBT를 포함한 선량평가 결과에서도 큰 선량값을 나타내었다. 이러한 특이점은 한국의 식물 및 사료 농도 계산과 관련된 수분비 계산 방법의 특성과 사료에서 동물로 핵종이 이동 시에 비방사능 모델이 아닌 전이 모델을 사용함에서 크게 영향을 받았음을 확인하였다. 다만, 선량 계산을 위하여 음용수 농도를 동일하게 설정하였으나 어떠한 값을 조정하느냐에 따라 방사능 농도가 방법론별로 역전될 수 있으므로 계산 시 주의가 필요하다.

HTO가 체내에 들어와 OBT로 변환될 확률은 체내의 배설을 고려한다면 0.1% 내외임에도 불구하고 OBT에 의한 선량 기여도가 11.0~16.7%로 큰 부분을 차지하였다. 따라서, 국내의 평가 방법론에도 OBT에 대한 내용을 고려할 필요가 있다.

본 연구 결과를 종합하여 선량평가 시 각 개체별로 측정된 분산값 적용 및 개체별 정확도 향상과 OBT를 고려한 디테일한 분석의 필요성을 확인하였다. 또한, 연구 확장을 통하여 한국의 지역 특성을 반영한 선량평가 모델 개발의 중요성을 강조하였다.

사 사

본 연구는 원자력안전위원회의 재원으로 한국원자력안전재단의 지원을 받아 수행한 원자력안전연구 사업의 연구결과입니다. (No. 2103090)

참고문헌

1. https://npp.khnp.co.kr/board/view.khnp?boardId=BBS_0000032&menuCd=DOM_000000104003000000&startPage=1&categoryCode3=300&dataSid=10155/.
2. ICRP. 1995. Age-dependent Doses to the Members of the Public from Intake of Radionuclides - Part 5 Compilation of Ingestion and Inhalation Coefficients. ICRP Publication 72.
3. U.S.NRC. 1997. Calculation of Annual Doses to Man from Routine Releases of Reactor Effluents for the Purpose of Evaluation Compliance with 10CFR PART 50, Appendix I. Reg. Guide 1.109, rev 1. U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, D. C.
4. U.S.NRC. 1997. Methods for Estimating Atmospheric Transport and Dispersion of Gaseous Effluents in Routine Releases from Light-Water-Cooled Reactors. Reg. Guide 1.111, rev 1. U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, D. C.
5. U.S.NRC. 1997. Estimating Aquatic Dispersion of Effluents from Accidental and Routine Reactor Releases for the Purpose of Implementing Appendix I. Reg. Guide 1.113, rev 1. U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, D. C.
6. U.S.NRC. 2007. Calculation of Releases of Radioactive Materials in Gaseous and Liquid Effluents from Light-Water-Cooled Power Reactors. Reg. Guide 1.112, rev 1. U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, D. C.
7. https://www.kins.re.kr/nussam/krs/KinsRgltManualReresvnSts.do/
8. IAEA. 2010. Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments. Technical Reports Series No. 472. pp. 131-144. Vienna, Austria.
9. CSA, Canadian Standards Association. 2018. Guidelines for calculating derived release limits for radioactive material in airborne and liquid effluents for normal operation of nuclear facilities. CSA N288.1:14. Mississauga.