

Research on the Transfer Factor for C¹⁴ Ingestion Dose Evaluation in PWR plant

PWR 발전소에서 C¹⁴ 섭취선량 평가를 위한 전이계수 연구

김승평* · 한영옥* · 박경록**
조선대학교*, 한수원(주)원자력환경기술원***

Soong-Pyung Kim^{*)}, Young-Ok Han^{*)}, Kyeong-Rok Park^{**)}
CHOSUN University^{*)}, KNETEC^{***)}

Abstract

This paper is to evaluate rather correctly C¹⁴ ingestion dose that inhabitants around PWR plants can receive, and draw how to apply TF(Transfer Factor) to evaluate dose by the ingestion of animal products. For this, in this paper, dose assessment and analysis about existing materials related to TF were carried out, and the methodology to present TF was based on dose assessment and analysis result.

The ingestion dose calculated using TFs presented by CSA and KEPRI was high or equal compared with SAM(Specific Activity Model) which is the most conservative, on the other hand, TFs given by NEC did not consider the effect according to volume change of animal at all, Therefore, it is judged that models used in the existing codes to assess the C¹⁴ concentration into animal products must be improved to apply fundamentally hybrid model using transfer factors, that transfer factor on each animal products have to be developed through experiment for applying to our country.

key word : C¹⁴ Ingestion Dose, Animal Transfer Factor

요 약

본 논문은 PWR 발전소에서 환경으로 방출된 기체 형태의 C¹⁴에 의해 발전소 주변 주민이 받을 수 있는 선량을 비교적 정확하게 평가하기 위한 것으로 국내의 선량평가 프로그램에서는 축산물 섭취선량을 평가하기 위해 동물성 전이계수를 적용하고 있지만 전적으로 해외의 자료를 적용하고 있고, 동물의 체적에 따른 영향을 반영하지 못하고 있다. 본 연구에서는 동물성 전이계수 관련 자료 및 개발 방법론에 대한 분석을 수행함과 동시에 C¹⁴ 피폭선량을 평가하였고, 그 결과에 근거하여 국내 환경을 충분히 고려할 수 있는 동물성 전이계수 적용 방안을 도출하였다.

CSA 및 KEPRI에서 제시한 자료를 적용하여 C¹⁴ 피폭선량을 계산한 결과 가장 보수적인 비방사능 모델에 비해 높거나 동일한 결과를 주었는데 이는 물리적으로 타당성이 없는 결과였고, NRC에서 제시한 자료를 적용한 경우 피폭선량은 낮게 나타났지만 동물의 체적변화에 따른 영향을 전혀 반영하지 못하고 있었다. 따라서 경제 성장에 따른 축산물 섭취량 증가와 발전소 주변 환경을 충분히 반영함으로써 C¹⁴에 의해 발전소 주변 주민이 받을 수 있는 피폭선량을 비교적 정확하고 현실성 있게 평가하기 위해서는 실험을 통해 동물성 전이계수를 제시해야 할 것으로 판단되며 이에 대한 구체적인 실험 방법 및 방안은 제시하였다.

요약어 : C^{14} 섭취선량, 동물성 전이계수

1. 서론

반감기가 5,730년인 C^{14} 는 순수 베타 방출핵종으로 원자로 내에서 C^{14} 의 주 생성원은 냉각재, 감속재, 구조재, 연료물질 등에 포함된 탄소, 산소, 질소의 중성자 포획반응에 의한 것으로 원자로에서 생성되는 양은 발전소 설계 및 운전 조건과 계측 조건에 따라 다르고, 발전소 내에서 생성된 C^{14} 는 컨테인먼트나 발전소 배기계통 등을 통해 환경으로 방출된다. C^{14} 의 방출 화학형태는 크게 CO_2 와 C-유기물 형태로 PWR 발전소에서 CO_2 와 C-유기물 형태로 방출되는 평균 분율은 각각 20%, 80% 정도인 것으로 알려져 있지만[1], 발전소 설계 및 운전 조건과 계측 조건에 따라 많은 차이가 있다.

C^{14} 섭취선량이 총 피폭선량의 99% 정도를 차지하는 것으로 알려져 있지만[2] 국내에서 C^{14} 선량평가를 위해 사용되는 프로그램에서는[3, 4] 축산물 섭취에 따른 선량을 평가할 때 가장 보수적인 비방사능 모델을 적용하거나 NRC에서 제시한 동물성 전이계수를 적용하고 있다. NRC에서는 우유와 육류에 대한 전이계수로 각각 0.012와 0.031을 제시하였지만 육류의 경우 동물의 체적에 따라 동물체 내에서 C^{14} 거동 메커니즘에 차이가 있을 수 있는데 이러한 현상을 반영하지 못하는 단점을 가지고 있다.

따라서 경제 발달에 따라 축산물 섭취량은 지속적으로 증가하는 추세를 보이고 있는 국내의 환경과 발전소 주변 특성을 충분히 고려할 수 있는 동물성 전이계수를 실험을 통해 제시함으로써 축산물 섭취에 따른 C^{14} 피폭선량을 보다 현실적이고 정확하게 평가할 필요가 있다.

2. 연구 내용

현재 전 세계적으로 식물체 및 축산물에서 C^{14} 농도를 구하는데 가장 널리 사용되고 있는 모델은 비방사능 및 하이브리드 모델로 발전소 정상가동 중 환경으로 방출된 C^{14} 선량평가에 가장 적합한 모델이라고 할 수 있다.

비방사능 모델은 음식물 섭취에 의한 선량을 가장 보수적으로 구하는 방법으로서 환경에서 천연 탄소와 방사성 탄소의 농도비(C^{14}/C^{12})가 공기 중의 농도비(C^{14}/C^{12})와 같다는 가정과 방사성 붕괴는 일어나지 않는다고 가정하여 음식물 내에서 C^{14} 방사능 농도를 구하고 있다.

기존의 연구 결과[2]에 의하면 C^{14} 가 발전소로부터 만성적으로 방출되거나 자연적으로 생성되는 경우에 비방사능 모델을 적용하여 식물체 내에서 C^{14} 농도를 예측하는 것이 적절한 방법이라고 보고 되었다[2]. 그러나 이 모델은 시간 항이 없기 때문에 발전소로부터 C^{14} 가 비정상적으로 방출되거나 과도 및 사고 상태에 따라 환경에서의 C^{14} 농도 변화가 있을 경우에는 예측하기 어렵다는 단점이 있다.

또한, 연구결과에 의하면[2] 농·축산물에서 천연 탄소와 방사성 탄소의 농도비(C^{14}/C^{12})가 공기 중의 농도비(C^{14}/C^{12})와 평형상태에 도달하는데 약 2~3개월과 1.8년이 걸리는 것으로 알려져 있지만 비방사능 모델을 적용하여 C^{14} 피폭선량을 계산할 경우 사용된 가정으로 인해 Time Delay를 고려할 수 없기 때문에 상당히 보수적인 결과를 가져올 수 있다.

반면, 하이브리드 모델은 농작물에서 C^{14} 농도를 평가할 때는 기본적으로 비방사능 모델을 적용하고 있고, 축산물에서는 전이계수(TF : Transfer Factor)를 적용하여 C^{14} 농도를 계산하는 방법으로 비방사능 모델에 비해 현실성 및 유연성을 가지고 있는 모델로 축산물 섭취에 따른 선량을 계산할 때 전이계수를 적용해야 할 것으로 판단되며 이에 대한 타당성은 다음과 같다.

- 동물의 경우 식물과 달리 운동성으로 인해 사료의 오염 정도가 다를 수 있음

- 또한, 동물의 사료에 포함된 탄소 함량 및 농도가 동일하더라도 이를 섭취한 동물 내에서도 부위에 따라 침적량이 다를 수 있음

- Canadian Standard CSA-N288.1[2, 5] 및 USNRC Reg. Guide 1.109[2, 4]에서도 식물체에서 C^{14} 농도를 구하기 위해 비방사능 모델을 사용하고 있고, 축산물에 대해서는 전이계수를 적용하여 선량을 평가하고 있음

위의 분석 결과에 근거하여 본 연구에서는 농작물에서의 C^{14} 농도를 계산할 때 비방사능 모델을 적용하였다. 축산물의 경우는 국가 경제의 발달에 따라 그 섭취량은 계속적으로 증가하는 추세를 보이고 있기 때문에[6] 이러한 현상을 현실적 및 물리적으로 평가하기 위해 전이계수를 적용하여 축산물 섭취선량을 평가함과 동시에 동물성 전이계수 관련 자료를 분석하였고, 그 결과에 근거하여 국내의 환경을 충분히 반영할 수 있는 동물성 전이계수 적용 및 실험 방안을 구체적으로 제시하였다.

비방사능 및 하이브리드 모델은 Time term이 존재하지 않기 때문에 C^{14} 가 발전소로부터 비정상적으로 방출되는 경우 환경에서의 C^{14} 농도를 평가하기에는 부적합하고, 이러한 경우 AECL[2]에서 제시한 POM(Process Oriented Model)을 적용하여 선량을 계산할 수 있지만 구체적인 방법론과 선량 평가식을 제시하지는 않았기 때문에 이에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

3. 전이계수 관련 자료 분석

비방사능 모델은 축산물의 운동성에 기인한 사료의 오염 정도와 동물체 내에서 C^{14} 거동 메커니즘을 고려하지 못하고, 또한 사용된 가정으로 인해 Time delay를 고려할 수 없기 때문에 물리적으로 상당히 보수적인 결과를 줄 수 있다. 이러한 단점을 극복함으로써 축산물 섭취에 따른 C^{14} 피폭선량을 보다 현실적 및 물리적으로 타당성 있게 평가하기 위해서는 전이계수를 적용하여 축산물에서 C^{14} 농도를 구해야 할 것으로 판단되며, NRC 및 CSA에서도 전이계수를 적용하여 축산물의 C^{14} 농도를 평가하고 있다[2, 4, 5].

국내의 C^{14} 선량평가 프로그램에서는 축산물 섭취에 따른 선량을 평가할 때 가장 보수적인 비방사능 모델을 적용하거나 전이계수를 적용하고 있지만 NRC에서 제시한 전이계수를 사용하고 있기 때문에 국내의 환경을 충분히 고려하지 못하고 있고, 또한 동물의 체적에 따라 대사 메커니즘이 다르게 나타나고 있지만 NRC의 전이계수는 이러한 현상을 반영하지 못하고 있다.

3.1 전이계수 정의 및 관련 식

전이계수를 적용하여 축산물에서 C^{14} 농도를 계산하기 위해서는 아래의 식에서 볼 수 있듯이

동물의 사료 섭취량과 사료 내의 C^{14} 농도 및 전이계수를 파악해야 한다.

$$TF = \frac{C_{ap}}{C_{veg} Q_f} \quad \text{식(1)}$$

위의 식에서, C_{veg} 는 식물체에서 C^{14} 농도(Bq/kg)를, C_{ap} 는 축산물에서 C^{14} 농도를, Q_f 는 동물의 사료 섭취량(g C/kg weight)을 각각 나타내고, C_{veg} 는 다음의 비방사능 모델에 의해 계산 될 수 있다.

$$A_n^{air} = A_n^{veg} \quad \text{식(2)}$$

위의 식에서, A_n^{veg} 는 위치 n에서 식물체의 비방사능을, A_n^{air} 는 위치 n에서 공기 중의 C^{14} 비방사능을, Veg_c 는 식물체의 탄소함량(g C/kg weight)을 각각 나타내고, 공기 중의 C^{14} 비방사능은 아래의 식에 의해 계산할 수 있다.

$$C_{ac} = XOQ_n \times Q_c \quad \text{식(3)}$$

$$A_n^{air} = C_{ac}/M_c \text{ (Bq g/C)} \quad \text{식(4)}$$

위의 식에서, C_{ac} 은 위치 n에서 공기 중 C^{14} 농도(Bq/m³)를, Q_c 는 발전소로부터 방출량(Bq/yr)을, M_c 는 공기 중의 안정 탄소 질량(g/m³)을, XOQ_n 는 위치 n에서 C^{14} 대기확산인자(sec/m²)를 각각 나타낸다. 캐나다의 CSA[2, 5] 및 NRC Reg. Guide 1.109[2, 4]에서는 공기 중 안정탄소의 질량으로 0.16 g/m³을 사용하였지만 본 연구에서는 최근 전 세계적으로 탄소의 증가로 인해 안정탄소의 질량이 증가하는 추세를 반영하기 위해 0.18 g/m³을 적용하였다.

3.2 전이계수 개발 방법론

전이계수를 구하는 방법은 첫째, 자료 검토를 통해 국내에 가장 적합한 값을 적용하는 것이고, 둘째 실험을 수행하여 동물성 전이계수를 직접 개발하는 것이 우리나라의 현실을 가장 잘 반영할 수 있는 이상적인 방법이라 할 수 있지만 현재까지 국내에서 동물성 전이계수를 개발하기 위한 실험을 수행하지 않았기 때문에 본 연구에서는 자료 검토를 통해 전이계수관련 자료에 대한 분석을 수행하였으며, 특히 KEPRI[2]에서 전이계수를 제시하기 위해 사용한 자료 및 방법론에 대해 집중적으로 분석하였다.

1997년 전력연구원(KEPRI)에서는 월성 원전을 대상으로 12 Bq/L의 3H 측정치와 0.012 kg/m³의 절대 습도를 이용하여 공기 중 3H 농도를 0.144 Bq/m³로 계산하였다. $^{13}C / ^3H$ 방출비는 약 0.00227로 이 값을 사용하여 공기 중의 C^{14} 농도를 0.000326 Bq/m³로 계산하였고, 계산된 공기 중 C^{14} 농도와 M_c 값으로 0.18을 적용하여 계산한 결과 공기 중 ^{14}C 비방사능은 1.811E-5 Bq/gC이었다.

식(1)을 통해 볼 수 있듯이 동물성 전이계수를 제시하기 위해서는 동물의 사료 섭취량을 파악해야 하는데 KEPRI에서는 소(젖소 포함)를 제외한 동물의 사료 섭취량으로 [표 1] 및 [표 2]에 제시된 NRC 및 K-DOSE60의 자료를 사용하였고, 소의 경우 사료 섭취량으로 fresh weight 기준이

아닌 dry weight 기준의 목초를 사용하였는데 이에 대한 타당성은 다음과 같다.

- 외국과 달리 우리나라의 경우 방목보다는 일정 공간 내에서 집단적으로 소를 사육하는 경우가 대부분이고,
- 육우 및 젖소가 섭취하는 목초를 처음 채취할 때 수분함량이 많지만 시간이 지남에 따라 건조 상태가 되기 때문에 fresh weight 기준으로 섭취량을 적용하여 선량을 평가할 경우 많은 오차를 수반할 것으로 판단됨

사료 내의 C^{14} 농도는 [표 1]에 제시된 사료의 탄소 함유량 자료와 비방사능 모델을 이용하여 계산하였고, 국내의 일조시간을 고려한 광합성 분율은 적용하지 않았는데 이에 대한 타당성은 다음과 같다.

- 인간이 섭취하는 목초의 경우 섭취가 주 목적이기 때문에 수확기까지 목초의 성장기간이 짧을 것으로 판단됨으로 일조시간을 고려한 광합성 분율을 적용해야 할 것으로 판단됨
- 반면, 동물 사료인 목초의 경우 사람이 섭취하는 목초와 달리 수확기까지의 성장기간이 일정하지 않고, 인간이 섭취하는 목초에 비해 성장기간이 상당히 길 수 있기 때문에 광합성 분율을 적용하지 않는 것이 타당하다고 판단됨

[표 2]를 분석해 보면 NRC 및 FOOD II[8] 모델에서는 fresh weight 기준의 섭취량을 적용하였고, K-DOSE60에서는 육우를 제외한 축산물에 대해서는 캐나다의 FOOD II 모델에서 적용하고 있는 값을 그대로 사용하고 있으며, 동물의 사료 섭취량은 각 연구기관마다 차이가 있음을 확인할 수 있다.

본 연구에서는 KEPRI에서 적용한 방법론에 따라 dry 기준의 사료 섭취량 자료를 적용하였고, 해외에서 제시한 자료와 비교 분석하였다. 비교 분석한 결과 돼지의 사료 섭취량은 CSA에서 dry 기준으로 제시한 값에 비해 약 28% 정도로 높게 나타난 반면, 나머지 사료의 경우 10% 정도 높게 나타났다. IAEA 및 NCRP에서도 dry 기준으로 사료 섭취량을 제시하였지만 육우 및 젖소의 사료 섭취량만을 제시하였기 때문에 비교 분석을 수행하는 것은 무의미 할 것으로 판단된다.

전이 계수를 적용하여 축산물에서 C^{14} 농도를 계산할 때 사료 오염정도 및 섭취량에 따라 C^{14} 농도는 다르게 나타날 것으로 판단되지만 비방사능 모델의 경우 동물의 음식물 섭취량에 무관하게 동물체에서 농도를 구하고 있는데 KEPRI에서는 동물이 섭취하는 음식물들은 모두 오염된 지역에서 나온 것이란 아주 보수적인 가정을 사용하여 위의 단점을 보완하였다.

또한, 공기와 사료의 C^{14} 비방사능은 서로 평형 상태에 있다는 가정과 돼지 및 닭은 곡류만을 섭취한다는 가정을 사용하였다. 위의 가정을 적용할 경우 전이계수 정의식인 식(1)은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$TF = \frac{C_{ap}}{C_{veg} Q_f} = \frac{M_{ap}}{M_{veg} Q_f} \quad \text{식(5)}$$

위의 식에서 M_{ap} 와 M_{veg} 는 각각 축산물과 사료의 탄소함유량(g C/kg weight)을 나타내고 KEPRI에서는 축산물 및 사료의 탄소함유량으로 AECL에서 제시한 자료를 그대로 적용하여 제시

한 전이계수를 [표 3]에 도시하였다.

[표 3]을 분석해 보면 K-DOSE60 및 INDAC에서는 NRC에서 제시한 전이계수를 그대로 적용하고 있고, NRC에서는 육류에 대한 대표 값으로 0.031을 제시하고 있는 것을 볼 수 있다. 반면, CSA 및 KEPRI에서 제시한 전이계수는 동물의 체적이 감소함에 따라 증가하는 경향을 보이고 있는 것을 볼 수 있는데, NRC에서 제시한 전이계수는 이러한 현상을 반영하지 못하고 있다.

즉, 실험 결과에 의하면[7] 동물의 체적에 따라 ^{14}C 잔류 및 배출 함수에 차이가 존재하는데 NRC의 전이계수는 이러한 현상을 전혀 반영하지 못하고 있다는 것이다.

[표 2]와 [표 3]을 통해 확인 할 수 있듯이 제시된 전이계수 값 및 사료 섭취량은 연구수행 기관마다 차이가 있기 때문에 각 기관에서 제시한 자료에 근거하여 선량평가를 수행하고, 그 결과에 근거하여 국내에 가장 적합한 자료를 도출해야 할 것으로 판단된다.

4. C^{14} 선량평가 결과

피폭선량을 계산하기 위해 가장 중요한 변수는 발전소로부터 방출되는 화학 형태별 양과 대기 확산인자로 본 연구에서는 선량평가 대상 발전소로 영광 4호기를 선정하였고 C^{14} 선량평가를 위해 사용된 모델 및 입력 자료를 [표 4]에 제시하였다. [표 4]에 제시된 자료를 근거로 계산한 피폭선량 결과를 [표 5]에 나타내었고 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- CO_2 와 C-유기물에 의한 호흡선량은 섭취선량의 약 0.2%로 무시할 수 있을 정도로 작은 양으로 CO_2 섭취선량만을 평가해도 큰 문제는 없을 것으로 판단됨
- K-DOSE60 default option은 축산물 섭취에 따른 선량을 평가할 때 광합성 분률로 0.5를 적용하였는데, 이는 물리적 타당성이 없는 option으로 비방사능 모델을 적용하여 축산물 섭취에 따른 선량을 평가할 때는 가장 보수적인 GEN II option을 적용해야 할 것으로 판단됨
- KEPRI 방법론에 따라 계산된 전이계수를 적용하여 선량을 계산한 결과 GEN II option과 동일하였는데, 이러한 경향을 보이는 것은 앞에서 언급하였듯이 축산물에서 C^{14} 농도를 계산할 때 비방사능 모델을 적용하여 축산물의 C^{14} 농도를 계산하였고, 계산된 결과에 근거하여 전이계수를 제시하였기 때문에 당연한 결과라 판단되며, 이러한 결과로부터 KEPRI 방법론에 따라 제시된 전이계수를 적용하여 C^{14} 선량을 계산하는 것은 의미가 없을 것으로 판단됨.
- CSA에서 제시한 전이계수를 적용하여 피폭선량을 계산한 결과 가장 보수적인 모델인 GEN II option보다 높게 나타났는데 이는 물리적인 타당성이 없는 결과로 CSA의 전이계수는 국내에 적용할 수 없을 것으로 판단됨
- NRC에서 제시한 전이계수는 육류에 대해서 일률적으로 0.031을 적용함으로써 축산물 섭취 선량을 평가하고 있는데, 동물실험 결과[7]에 의하면 동물 체적에 따라 신진대사 메커니즘이 다르게 나타나는 것으로 보고 되었지만 NRC에서 제시한 전이계수는 이러한 현상을 전혀 고려하지 못하고 있음.

이러한 분석 결과로부터 보다 현실적으로 축산물 섭취에 의한 선량을 평가하기 위해서는

NRC에서 제시한 전이계수를 그대로 적용하기보다는 국내 환경을 충분히 반영할 수 있는 전이계수를 실험을 통해 체계적으로 제시함으로써 보다 현실적인 선량평가가 필요할 것으로 판단된다.

5. 결론

C^{14} 선량을 평가한 결과 섭취선량이 전체 피폭선량의 99% 이상을 차지하고 있고, 경제 성장에 따라 축산물에 대한 섭취량은 지속적으로 증가하고 있기 때문에 축산물 섭취에 의한 선량을 현실적으로 평가할 필요가 있다.

이를 위해 본 연구에서는 PWR 발전소로부터 C^{14} 방출에 의해 주변 주민이 받을 수 있는 선량을 비교적 정확하고 현실성 있게 평가하기 위해 동물성 전이계수 관련 자료에 대한 분석을 수행함과 동시에 선량평가 결과에 근거하여 동물성 전이계수 제시 및 적용 방안을 다음과 같이 도출하였다.

- 국내의 여건 및 동물의 체적 변화에 따른 영향을 충분히 반영하기 위해서는 실험을 통해 동물성 전이계수를 적용해야 할 것으로 판단됨.
- 본 논문에서는 영광 4호기를 대상으로 연구를 수행하였기 때문에 연구의 일관성을 유지함과 동시에 발전소 주변 환경을 고려하기 위해 영광원전으로부터 반경 기준으로 환경시료를 채취하여 LSC 계측 및 분석 수행
- 섭취량에 대한 자료 조사 결과[6] 섭취량이 많은 축산물은 소/돼지/닭/우유/계란으로 나타났기 때문에 이들 축산물에 대한 실험 수행
- 일정 공간 내에 사육하는 집단 사육장이 존재할 경우 사육장을 중심으로 자료조사를 수행한다.
- ㉠ 사료의 출처를 확인함과 동시에 사료 섭취량 파악
- ㉡ 축산물 및 사료를 채취하여 실험을 수행함으로써 탄소함유량 및 C^{14} 농도 파악
- 원전으로부터 일정 반경 이내에 집단 사육장이 존재하지 않을 경우에는 사료의 판매처를 중심으로 자료 조사를 수행하고, 실험 수행 방법론은 일정 반경 이내에 집단 사육장이 존재하는 경우와 동일하다.

위와 같은 방법으로 전이계수를 제시할 경우 예상되는 문제는 사료의 대표성으로 영광원전으로부터 일정 반경 이내에 집단 사육장이 존재하더라도 사료를 외부로부터 구입할 경우 발전소 주변 환경을 고려할 수 없고, 이러한 경우 판매처를 중심으로 자료 조사를 수행함으로써 전이계수 및 전이계수 관련 자료를 제시해야 할 것으로 판단된다.

표 1. 전이계수 관련 자료

종류	Q_f (kg/day)	사료 종류	M_{veg}	M_{cp}	비고
소	11 ¹⁾	우유	408 ²⁾	225 ³⁾	¹⁾ dry 기준
돼지	4.2 ¹⁾	소고기	403 ³⁾	326 ³⁾	²⁾ AECL 자료
닭	0.12 ¹⁾	돼지고기	403 ³⁾	163 ³⁾	³⁾ K-DOSE60 자료

Q_f 는 동물의 사료 섭취량이고,

M_{veg} 와 M_{cp} 는 각각 사료와 축산물의 탄소함유량임

표 2. 사료 섭취량 비교(kg/d)

종류	NRC	FOOD II	IAEA/ NCRP	CSA	본 연구
젖소	50 ¹⁾	55 ¹⁾	16 ²⁾	10 ²⁾	11 ²⁾
소	50 ¹⁾	68 ¹⁾	12 ²⁾	10 ²⁾	11 ²⁾
돼지	-	4.2 ¹⁾	-	3.0 ²⁾	4.2 ²⁾
가금류	-	0.12 ¹⁾	-	0.1 ²⁾	0.12 ²⁾

여기서 ¹⁾은 wet 기준이고, ²⁾는 dry 기준임

표 3. 전이계수 비교

축산물	NRC	CSA	K-DOSE60 /INDAC	KEPRI
우유	0.012	0.015	0.012	0.013
육류	0.031	-	0.031	-
소고기	0.031	0.064	0.031	0.047
돼지고기	0.031	0.180	0.031	0.220
가금류	0.031	4.200	0.031	4.200
달걀	0.031	3.100	0.031	-

표 4. 사용된 모델 및 입력 자료

구분	내용	비고
평가 모델	하이브리드	축산물의 ¹⁴ C 농도 계산
	비방사능	농·축산물의 ¹⁴ C 농도 계산
입력 자료	방출량	영광 4호기 예상 방출량 적용
	대기확산인자	2004년도 값 적용
	기타 자료	AECL 및 기존 자료 사용

표 5. 총 피폭선량(mSv/yr) 결과
(장기등가선량기준, 성인)

구분		K-DOSE60		전이계수 적용		
		default	GENII	NRC	CSA	KEPRI
농 작 물	곡식	1.12E-2	1.12E-2	1.12E-2	1.12E-2	1.12E-2
	과일	6.85E-4	6.85E-4	6.85E-4	6.85E-4	6.85E-4
	채소	5.62E-4	5.62E-4	5.62E-4	5.62E-4	5.62E-4
	엽채류	5.53E-4	5.53E-4	5.53E-4	5.53E-4	5.53E-4
	합계	1.30E-2	1.30E-2	1.30E-2	1.30E-2	1.30E-2
축 산 물	우유	6.31E-4	1.26E-3	1.11E-3	1.39E-3	1.26E-3
	소	7.64E-4	1.53E-3	9.45E-4	1.95E-3	1.53E-3
	돼지	6.63E-4	1.33E-3	2.14E-4	1.24E-3	1.33E-3
	닭	5.96E-4	1.19E-3	1.08E-5	1.47E-3	1.19E-3
	합계	2.65E-3	5.31E-3	2.28E-3	6.05E-3	5.31E-3
총 섭취선량		1.57E-2	1.83E-2	1.53E-2	1.91E-2	1.83E-2
총 호흡선량		2.44E-5	2.44E-5	2.44E-5	2.44E-5	2.44E-5
총 피폭선량		1.57E-2	1.83E-2	1.53E-2	1.91E-2	1.83E-2

참고 문헌

- [1] "Characterization of C-14 Generated by the Nuclear Power Industry", ETRI TR-105715 Research Project 2724-04, Final Report, 1995.
- [2] "Modelling Doses from Tritium and C¹⁴ in the environment", S-R. Peterson, P.A. Davis and P.R. Rao, 1997 October.
- [3] "방사능 방재 환경 규제기술 개발", KINS/GR-199, 한국원자력안전기술원.
- [4] "원자력발전소 주변 주민선량 계산지침 개요 및 관련 규정", 한국전력공사, 한국수력원자력, 2003.6
- [5] "Guidelines for Calculating Derived Release Limits for Radioactive Material in Airborne and Liquid Effluents for Normal Operation of Nuclear Facilities", CAN/CSA-N288.1-M87.
- [6] "계절별 국민영양조사", 보건복지부 한국보건산업진흥원, 2002.
- [7] "A Biokinetic Model for Carbon Dioxide and Bicarbonate", Radiation Protection Dosimetry Vol. 108, No. 3, pp. 203-213, 2004.
- [8] "고리 주변환경종합평가 및 관련모델 개발", 한국에너지 연구소, 1989.