

Analysis of Gamma Radionuclides in K-MILK Certified Milk

Hee-Jin Jang^{1,2}, Hyo-Jin Kim¹, Yong-Uk Kye¹, Ji Eun Lee¹, Dong-Yeon Lee², Yeong-Rok Kang^{1,*}

¹Research Center, Dongnam Institute of Radiological & Medical Sciences

²Department of Radiological Science, Dong-eui University

Received: October 24, 2024. Revised: November 22, 2024. Accepted: November 30, 2024.

ABSTRACT

After the Fukushima nuclear accident, interest in radioactive intake through food has increased significantly. Radioactivity is colorless, tasteless, and odorless, making it very difficult to determine whether it is contaminated, and it is important to check the radioactive safety of food as it can lead to long-term exposure during intake and absorption. In particular, children have more active metabolic activities than adults, so the risk of absorption after intake is judged to be high, so stricter acceptance standards are applied. Nevertheless, there is not little anxiety about radioactive contamination. Therefore, this study aims to confirm radioactive safety by analyzing gamma nuclides of milk with the highest intake in infancy in all ages based on 2021 national nutrition statistics. Samples were selected from 10 domestic milk types made of 100% domestic raw materials through K-MILK certification. Sample analysis was conducted according to the radioactive test method of 'Standards and Specifications for Food'. As a result of the analysis, all 10 types of milk nuclides ¹³¹I, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs were determined to be less than MDA(Minimum Detectable Activity) and were not detected. Therefore, it is judged that there is no contamination of ¹³¹I, ¹³⁴Cs, and ¹³⁷Cs nuclides in milk made from domestic raw materials, and when the annual intake dose of milk was conservatively evaluated using the measured MDA value, the radioactive safety of domestic milk was confirmed at 0.001% of the annual effective dose limit.

Keywords: Food Radioactivity, Cesium, Iodine, Gamma emitting nuclides, HPGe Detector, MDA

I. INTRODUCTION

방사선은 우리가 눈으로 볼 수는 없지만 항상 주변에 존재하여 인체에 영향을 주고 있다. 무색, 무미, 무취의 성질을 가지고 주변에 존재하기 때문에 선택적으로 차단할 수 없고 가볍게는 탈모, 구역질 등의 증상에서 심각하게는 암 발생, 사망 등의 악영향을 끼치게 된다. 이로 인해 많은 사람들이 위험성을 크게 인식하고 불안해한다. 특히 우리나라의 경우 2011년 발생한 후쿠시마 원전사고로 인해 방사능에 대한 걱정과 불안이 높아졌고, 특히 식품에 포함된 방사능 물질에 대한 불안이 매우 크다.

이에 식약처에서는 연간 4만 건에 달하는 수입 식품에 대하여 방사능 검사를 진행하고 있다. 원전

사고 이후 오염이 의심이 되는 수산물을 포함하여 다양한 식품의 방사능 검사를 진행하고 허용기준치 이하인 식품에 한해서 수입을 허가하고 있다. 후쿠시마는 원전 사고 직후 국내 공기 중 방사능을 측정하였을 때 일시적으로 방사능 수치 올라갈 정도로, 우리나라에서 매우 인접한 곳에 위치하고 있어 이러한 방사능 낙진의 영향을 무시할 수는 없으므로 다양한 방면으로 꾸준히 방사능 모니터링이 필요하다.

특히 영유아기에서 성장기의 어린 아이들의 경우 성인에 비해 그 위험도가 매우 크다. 성인에 비해 어린이의 단위 체중 당 호흡률, 식품 및 음용수 섭취량이 더 높기 때문에^[1] 동일한 수준의 방사능에 성인과 아이가 동시에 노출되었다면 아이에게

* Corresponding Author: Yeong-Rok Kang E-mail: yeongrok@dirams.re.kr
Address: Research Center, Dongnam Institute of Radiological & Medical Sciences

Tel: +82-51-720-5828

그 영향이 훨씬 빠르게 나타난다. 체르노빌 원전 사고 이후 주변 주민을 대상으로 진행된 많은 연구에서 갑상선암의 증가가 관찰되었고^[2-7], 이 중에서 2008년 유엔과학위원회(UNSCEAR)의 보고서에 따르면 실제로 1986년 체르노빌 원전 사고 이후 인접한 국가인 벨라루스 어린이의 갑상선암 발생률이 1990년까지는 100명당 5명에서 1991년에서 1995년 동안에는 남자는 4배, 여자는 7배가량 증가한 것을 확인할 수 있었다.

이처럼 어린 아이가 성인에 비해 방사능에 취약하기 때문에 여러 국가들이 핵종에 따라 아이와 성인의 방사능 허용 기준치를 달리 적용하고 있다. 우리나라의 경우에도 방사성 세슘의 허용 기준치를 일반 식품 100 Bq/kg, 유아용 식품 50 Bq/kg을 적용하고 있다. 식품 방사능 허용 기준은 100 Bq/kg이라는 기준은 국제식품규격위원회(CODEX)에서 정한 기준^[8]인 1,000 Bq/kg의 1/10 수준으로 타 국가에 비해 매우 낮은 편이고, 그 절반인 50 Bq/kg은 우리나라가 식품 방사능을 매우 엄격하게 관리하고 있음을 나타낸다. 하지만 방사능은 섭취하는 것 자체를 꺼리는 경우가 매우 많다. 특히 유아용 식품은 극미량이라도 검출이 되는 경우 많은 사람들이 아이의 방사능 피폭에 대해 매우 걱정을 한다.

영유아기 식품에는 대표적으로 우유, 치즈 등의 유제품이 있다. 2021년 국민영양통계^[9]에 따르면 우유의 섭취량은 19세 미만인 청소년 이하의 섭취량이 19세 이상 성인의 섭취량의 2.5배 이상 많았고, 특히 2세 이하의 영아의 섭취량이 전 연령대에서 가장 많았다.

이에 본 연구에서는 우유의 섭취량에 따른 연간 섭취선량을 평가하기 위하여 영유아기에 섭취량이 가장 높은 우유의 감마 핵종을 분석하였다. 국내에서 생산되는 우유 10종을 선택하여 식품공전의 방사능 잠정허용기준에 명시된 핵종인 ¹³¹I, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs 핵종을 분석하였다^[10]. 국내 우유 10종은 농림축산식품부 산하의 우유자조금관리위원회^[11]에서 인증하는 K-MILK 인증 제품을 선택하였다. K-MILK 인증은 우유 원료의 100%를 국산 원료로 사용한 제품에 대한 인증이다. 시료의 분석은 ‘식품의 기준 및 규격^[12]’의 방사능 시험 검사 방법에 따라 진

행되었다. 이를 통해 국내 우유의 방사능 오염 수준을 확인하고 연간섭취선량을 평가하여 식품의 방사능 안전을 확보하고자 한다.

II. MATERIAL AND METHODS

1. 실험 장비 및 연구 재료

본 연구는 ‘식품 기준 및 규격’의 방사능 시험 검사 방법에 따라 진행되었고, ORTEC사의 고순도게르마늄(HPGe) 검출기를 이용하였다. 실험에 사용한 GEM60 검출기는 직경 66 mm, 효율 60%이고, 분해능은 1.33 MeV에서 2.14 keV이다. 아래의 Fig. 1은 사용한 검출기이고, 이 검출기의 사양은 Table 1에 나타내었다.



Fig. 1. HPGe (High Purity Germanium) detector.

Table 1. Detector Specifications

Detector	GEM60
Corporation	ORTEC
Operating Voltage	+1700 V
Diameter	60%
Measurement Range	66 mm
Resolution	2.14 keV at 1.33 MeV
Relative efficiency	LVis software

검출기는 한국표준과학연구원(Korea Research Institute of Standards and Science, KRISS)에서 제작된 소급성이 확보된 인증표준물질로 에너지 교정, 효율 교정 후 사용하였다. 10개의 감마선 방출 핵종이 혼합된 방사능 인증표준물질을 고상 형태로 1 L Marinelli Beaker에 채워 제작된 선원을 사용하였다. 59.54 ~ 1836.05 keV 에너지 영역을 포함하며, ²⁴¹Am, ¹³⁷Cs, ⁶⁰Co 등의 핵종이 포함되어 있다. 자세한 인증표준물질의 정보는 아래의 Table 2에 나타내었다.

Table 2. Certified Reference Material Values and Uncertainties

Nuclide	Energy (keV)	Photon emission intensity (%)	Activity (Bq) ¹⁾
²⁴¹ Am	59.54	35.92	1440 ± 58
¹⁰⁹ Cd	88.03	3.66	7133 ± 290
⁵⁷ Co	122.06	85.49	419 ± 17
	136.47	10.71	
¹³⁹ Ce	165.86	79.90	405 ± 17
⁵¹ Cr	320.08	9.89	42852 ± 1800
¹¹³ Sn	391.70	64.97	1032 ± 42
⁸⁵ Sr	514.00	98.5	1380 ± 56
	504.00	98.5	
¹³⁷ Cs	661.66	85.01	627 ± 25
⁶⁰ Co	1173.23	99.85	1010 ± 41
	1332.49	99.9826	
⁸⁸ Y	898.04	93.7	1821 ± 73
	1836.05	99.346	

1) Confidence level: approx. 95%, k = 2

분석 시료는 국내 우유 10 종으로 하였다. 농림축산식품부 산하의 우유자조금관리위원회에서는 분기별로 유제품의 제조 환경을 점검하고 우유 원료의 100%를 국산 원료로 사용한 제품에 대한 인증을 진행하고 있다. K-MILK 인증 업체 및 제품은 우유자조금관리위원회의 홈페이지에서 확인할 수 있다. 이를 기준으로 인증 업체와 제품이 중복되지 않는 10 종의 시료를 선정하였다. 이를 1 L Marinelli Beaker에 분취 후 측정하였다.



Fig. 2. K-MILK Certification Mark.



Fig. 3. 1 L Marinelli Beaker.

2. 실험 방법 및 절차

실험은 ‘식품 기준 및 규격’의 방사능 분석법을 따라 진행되었다. 감마 핵종의 경우 1 번의 기기 계측만으로 ¹³¹I, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs 핵종을 구분하여 분석이

가능하다. 균질화한 시료를 Marinelli Beaker의 1 L 눈금에 맞추어 시료를 분취하고, 무게를 정밀히 달아 밀봉하였다. 각 시료의 무게를 기록한 후 HPGe 검출기를 이용하여 계측하였다.



Fig. 4. Gamma Nuclide Analysis Process.

3. 계측 및 분석

검출기는 ORTEC 사의 GEM60 HPGe 검출기를 이용하였다. 식품 시료 계측과 동일한 용량의 1 L Marinelli Beaker에 담긴 방사능 인증표준물질에 의하여 에너지 및 효율을 교정하였다. 인증표준물질에 포함된 핵종의 피크가 위치하는 채널과 에너지의 상관관계를 최소자승회귀법을 사용하여 교정식을 산출하였다.

장비 교정 후 시료당 총 10,000 초 측정하였고, 바탕계수는 80,000 초 측정하여 시료의 측정시간에 맞추어 적용하였다. 측정 결과는 시료 구매일을 기준으로 시간 보정을 하여 ¹³¹I, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs 핵종을 분석하였다.

III. RESULT

1. HPGe 검출기 에너지 및 효율 교정

식품 시료를 분석하기 이전에 검출기의 에너지, 효율 교정을 진행하였다. 먼저 소급성이 확보된 인증표준물질의 스펙트럼을 측정하였다. 측정된 스펙트럼에서 피크가 위치한 채널이 각 핵종의 에너지를 나타낸다. 채널과 에너지에 최소자승회귀법을 사용하여 보정식을 구하고 이를 적용해 에너지 교정을 할 수 있다. 본 실험에서 보정식은 $E \text{ (keV)} = 0.366x - 0.423$ 이고, x에 채널을 대입하면 에너지가 된다. 아래의 Fig. 5은 에너지 교정 결과를 그래프로 나타낸 것이다.

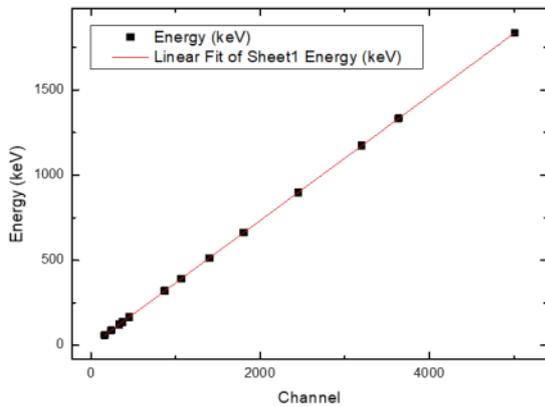


Fig. 5. Energy Calibration Result.

다음으로 효율 교정을 하기 위해서는 먼저 동일한 스펙트럼에서 각 피크 에너지에서 검출 효율을 구한다. 검출 효율 값은 에너지 함수로 내삽 방법에 의해 결정되며, 이 효율 함수로 시료의 최종 방사능을 산출하게 된다. 교정 선원의 효율 교정 결과는 아래의 Table 3에 나타내었다.

Table 3. Calculated and Measured Efficiency

Nuclide	Energy (keV)	Measured	Calculated	Difference (%)
²⁴¹ Am	59.54	0.01730	0.01729	0.00040
¹⁰⁹ Cd	88.03	0.04444	0.04464	-0.00450
⁵⁷ Co	122.06	0.05542	0.05472	0.01270
⁵⁷ Co	136.47	0.05576	0.05596	-0.00350
¹³⁹ Ce	165.86	0.05554	0.05563	-0.00170
⁵¹ Cr	320.08	0.03961	0.04099	-0.03510
¹¹³ Sn	391.70	0.03557	0.03572	-0.00410
⁸⁵ Sr	514.00	0.03065	0.02944	0.03940
¹³⁷ Cs	661.66	0.02559	0.02459	0.03910
⁸⁸ Y	898.04	0.01917	0.01981	-0.03320
⁶⁰ Co	1173.23	0.01597	0.01636	-0.02400
⁶⁰ Co	1332.49	0.01473	0.01489	-0.01090
⁸⁸ Y	1836.05	0.01177	0.01155	0.01870

효율 교정 함수에 대한 측정 불확도는 다음과 같이 평가되었다. 계수율(n), 동시합성효과(Cc), 우연합성(Cγ)에 대한 불확도는 측정값을 통계적으로 분석하는 A형 불확도로 평가하였고, 방사능(A), 방출확률(P), 붕괴보정인자(Cd)에 대한 불확도는 표준물질 인증서 등의 참고자료에 따라 분석하므로 B형

불확도로 평가하였다. 모든 불확도 요소는 상대 불확도로 전환하여 평가하였고, 요소별 불확도와 그 기여량을 계산하여 아래의 Table 4에 표기하였다.

Table 4. Efficiency Calibration Function of Uncertainty Factor and Contributions

Uncertainty factor	Type	Estimation value	Relative standard uncertainty	Uncertainty contributions (%)
n	A	2.046	0.67	6.59
A	B	42 852	2.10	64.74
P	B	0.107	1.40	28.77
C _d	B	1	0.14	0.29
C _c	A	1	0.00	0.00
C _γ	A	1	0.019	0.00

방사능 항목이 기여량 64.74%로 가장 큰 기여를 했고, 붕괴보정인자, 동시합성효과, 우연합성효과는 불확도에 거의 영향을 주지 않았다. 실험 결과의 유효성을 보장하기 위해 장비의 교정 능력을 평가한 결과 최종 상대합성불확도는 95%의 신뢰수준에서 k=2일 때, 5.2%이다.

2. 우유 시료 방사능 측정 결과

균질화한 시료를 Marinelli Beaker의 1 L 분취하고 시료의 무게를 측정하였다. 측정 시료는 각각의 측정 무게와 구매한 날을 기준으로 시간 보정하여 최종 방사능 농도를 계산하였다. 측정 결과는 10종의 국내 우유 모두 최소검출한계(MDA) 이하의 결과를 보여 불검출로 판단된다. 측정한 시료 10종의 무게와 결과값을 아래의 Table 5에 나타내었다.

Table 5. Measurement Sample Weight and Result

	Mass [kg]	¹³¹ I [Bq/kg]	¹³⁴ Cs [Bq/kg]	¹³⁷ Cs [Bq/kg]
M1	0.959	< MDA*	< MDA	< MDA
M2	0.937	< MDA	< MDA	< MDA
M3	0.918	< MDA	< MDA	< MDA
M4	0.971	< MDA	< MDA	< MDA
M5	0.930	< MDA	< MDA	< MDA
M6	0.982	< MDA	< MDA	< MDA
M7	0.919	< MDA	< MDA	< MDA
M8	0.899	< MDA	< MDA	< MDA
M9	0.966	< MDA	< MDA	< MDA
M10	1.019	< MDA	< MDA	< MDA

* < MDA : 최소검출가능농도(MDA) 미만의 값으로 판정된 결과

3. 최소검출한계(MDA)

저준위의 방사성 핵종의 분석에서 측정된 방사능 농도가 의미있는 값을 가지기 위해서는 최소검출한계(MDA)를 가능한 낮게 설정할 필요가 있다. MDA 값이 낮을수록 보다 정밀한 결과를 얻을 수 있다. 본 실험에서의 요오드와 세슘 핵종의 MDA는 Eq. (1)에 의해 GammaVison32 분석프로그램을 통해 계산되었다.

$$MDA(Bq/kg) = \frac{2.71 + 4.65 \times \mu^B}{\varepsilon \times m \times I_\gamma \times t} \quad (1)$$

위 수식에서 μ^B 는 백그라운드 불확도, ε 는 측정 효율, m 은 측정 시료량, I_γ 는 핵종의 감마방출확률, t 는 측정 시간을 의미한다. 계산 결과 ^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs 각각의 MDA는 아래의 Table 6과 같다.

Table 6. ^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs Nuclide MDA Results

	^{131}I [Bq/kg]	^{134}Cs [Bq/kg]	^{137}Cs [Bq/kg]
M1	0.122	0.070	0.122
M2	0.120	0.103	0.121
M3	0.085	0.105	0.123
M4	0.081	0.103	0.086
M5	0.086	0.091	0.081
M6	0.094	0.094	0.077
M7	0.122	0.101	0.091
M8	0.130	0.076	0.136
M9	0.245	0.161	0.179
M10	0.234	0.154	0.179

^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs 의 핵종별 MDA 최대치는 각각 0.245 Bq/kg, 0.161 Bq/kg, 0.179 Bq/kg이었다. 값이 가장 높은 ^{131}I 의 MDA 값이 국내 방사능 허용 기준치인 100 Bq/kg의 1/400 수준으로 본 실험은 충분히 정밀한 실험 결과를 얻을 수 있는 수준으로 진행되었다고 판단된다. 아래 Fig. 6은 실험의 MDA 값과 국내 식품 방사능 기준치, IAEA-TECDOC의 정리된 국제 무역에서의 CODEX 식품 방사능 가이드라인을 나타낸 그래프이다. 현재 이들 중 Cs 핵종은 후쿠시마 사고 이후 국제 기준의 1/10 수준인

100 Bq/kg으로 낮추어 적용하고 있다.

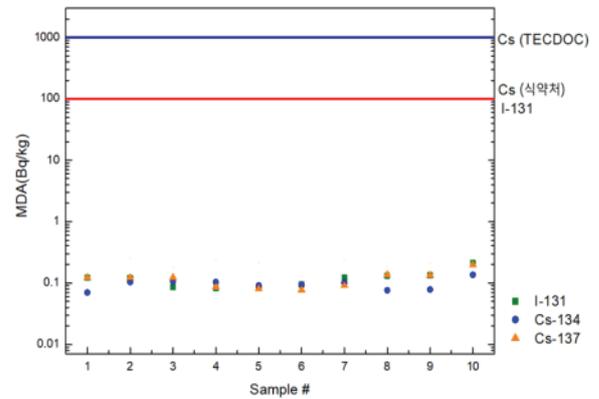


Fig. 6. ^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs MDA & Domestic and International Acceptance Standards.

4. 연간섭취선량평가

국제방사선방호위원회(ICRP)의 권고에서 일반인의 연간 유효선량 한도는 1 mSv로 설정되어 있다. 본 실험에서는 우유의 감마핵종 분석 결과를 토대로 연간섭취선량을 평가하고자 하였으나 10 개의 시료 모두 MDA 미만으로 불검출로 판정되었다. 이에 시료의 핵종별 MDA 값을 비방사능으로 하여 섭취선량을 보수적으로 평가하였다. 우유의 연간 섭취량에 따른 선량을 Eq. (2)으로 계산하였다.

$$D_{eff} = A \times I \times E \quad (2)$$

이 때, D_{eff} 는 연간 섭취 선량, A 는 각 시료의 비방사능(여기서는 MDA 값을 사용), I 는 연간 섭취량, E 는 선량계수이다. 여기서 선량계수(E)는 ICRP No.60(2012)^[13]을 참고하여 계산하였다. 해당 문서에는 선량계수는 연령에 영향을 받아 성인과 아동의 선량을 따로 평가하도록 제시되어 있다. 이에 우유의 소비량이 가장 많았던 2세 이하의 영아와 성인의 연간 섭취 선량을 계산하였다.

아래의 Table 7은 영아와 성인의 연간우유 섭취량, Table 8은 핵종별 선량계수를 나타낸 것이다.

Table 7. Annual Milk Intake of Infants and Adults

annual intake [g/day]	
Infant	220
Adult	59

Table 8. Effective Dose Coefficients(E) for Ingestion of ¹³¹I, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs Radionuclides for Members of The Public (Sv/Bq)

	Nuclide		
	¹³¹ I	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs
Infant	1.8×10^{-7}	1.6×10^{-8}	1.2×10^{-8}
Adult	2.2×10^{-8}	1.9×10^{-8}	1.3×10^{-8}

위 표의 내용을 토대로 핵종별 연간섭취선량을 계산하고 이들의 합을 아래의 Table 9과 Fig. 7에 나타내었다.

Table 9. Annual Intake of Infants and Adults by Milk Sample (μSv/y)

	Infant	Adult
M1	1.98	0.14
M2	1.99	0.15
M3	1.49	0.14
M4	1.39	0.12
M5	1.44	0.12
M6	1.56	0.12
M7	1.99	0.14
M8	2.12	0.15
M9	2.12	0.15
M10	3.77	0.26

MDA 값을 이용하여 계산한 우유의 연갑섭취선량은 2세 이하의 영아가 성인에 비해 12~16배가량 높게 계산되었고, 시료별로 비교하였을 때에는 M10이 가장 높았다. 이는 영아가 성인보다 신체 대사 활동이 빠르고, 일일 우유 섭취량이 약 220 g으로, 약 60 g인 성인의 섭취량보다 3.5배가량 많았기 때문으로 판단된다. 다만 가장 높은 연간 섭취선량인 3.77 μSv가 일반인의 연간 유효선량한도인 1 mSv의 0.3% 수준이고, 실제로는 MDA 미만의 검출치를 가지기 때문에 섭취시에 이보다도 더 낮은 수준의 섭취선량을 가지게 된다.

IV. DISCUSSION

방사능은 무색, 무미, 무취의 성질을 가지고 인체에 해로운 영향을 끼치므로 방사능 안전을 확신하기는 쉽지 않다. 특히 식품의 경우 섭취 후 되돌릴 수 있는 방법이 거의 없으므로 최대한 섭취하지 않는 것이 중요하고, 이는 후쿠시마 사고 이후 사람들에게 충분히 그 위험성이 강조되고 있다. 특히 아이들의 경우 성인보다 대사 속도가 빠르므로 섭취시에 그 위험도가 매우 크다. 이에 국내에서 지속적으로 모니터링이 이루어지고 있다. 최근에는 식품 방사능 안전에 대한 관심이 증가함에 따라 다양한 지역과 식품군에 대하여 분석한 결과가 발표되고 있으며, 자연 인공 핵종에 대한 방사능 분석과 선량 평가도 이루어지고 있다. 결과는 모두 연간 선량 이내의 값을 보이지만 성인을 기준으로 평가한 경우가 대부분이다^[14-16].

본 연구에서는 유아기에 섭취량이 가장 많은 우유의 감마핵종 분석을 진행하였다. 우유 시료는 100% 국산 원료로 제조된 제품을 10 종 선정하여 실험을 진행하였다. 분석 결과는 모두 MDA 이하의 값으로, 사실상 불검출이며, MDA는 국내 방사능 허용 기준치의 최대 1/400 수준으로 계산되었다. 계산된 MDA를 이용하여 연간 섭취선량을 평가하였을 때, 성인보다는 영아의 섭취선량이 높게 평가되었고, 시료 중에서는 M10 시료의 섭취선량이 가장 높게 나왔다. 다만 ¹³¹I, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs 세 핵종에 대해서는 가장 높게 평가된 섭취선량도 연간 유효선량한도의 0.3% 수준이며, 실제 검출치는 MDA 미만이므로 섭취시에는 이보다도 낮은 섭취선량을 가지게 된다.

현재는 식품 공전에 표기된 핵종 중 감마핵종에 대해서만 분석을 진행하였고, 이 후 추가로 베타핵종인 ⁹⁰Sr에 대한 분석도 계획하고 있다. 또한 최근에는 국내 우유의 지속적인 가격 상승의 이유로 수입 평균 우유의 수입량은 2023년 3만 7361 톤으로 2020년에 비해 3배 이상 증가하였고, 국내 우유의 소비량은 꾸준히 감소하였다. 이에 향후 수입 우유에 대해서도 방사능 분석을 진행할 예정이다.

V. CONCLUSION

본 연구에서는 국내 우유의 방사능 분석을 진행하였다. 기타 가공이 되지 않은 흰 우유를 기준으로 하였으며, K-MILK 인증을 기준으로 하여 100% 국산 원료로 제조된 중복되지 않은 10 개 업체의 제품을 선정하여 ^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs 핵종에 대한 분석을 진행하였다. 그 결과 검사한 핵종 모두 각각의 MDA 이하의 값으로 불검출로 판단하였다. 실험을 진행한 10 종의 우유에서 ^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs 핵종이 모두 불검출이고, MDA 값을 이용하여 보수적으로 섭취선량을 평가하였을 때에도 최대 연간 유효 선량의 0.3% 수준으로 섭취하여도 인체에 유해한 영향은 없을 것으로 판단된다. 따라서 국내 우유 제품에 한해서는 위의 세 핵종에 대한 방사능 안전이 확보되었다고 판단된다.

Acknowledgement

This work was supported by the Dongnam Institute of Radiological & Medical Sciences(DIRAMS) grant funded by the Korea government(MSIT) (No. 50491-2024)

Reference

- [1] H. Yoon, J. Seo, T. Kim, J. Kim, A. Jo, B. Lee, H. Lim, D. Lee, P. Kim, K. Choi, W. Yang, "Development of Korean exposure factors for children in Korea", *Journal of Environmental Health Sciences* Vol. 43, No. 3, pp. 167-175, 2017. <https://doi.org/10.5668/jehs.2017.43.3.167>
- [2] Bennett, Burton, Michael Repacholi, Zhanat Carr, "Health effects of the Chernobyl accident and special health care programmes", Report of the UN Chernobyl Forum Expert Group "Health". Geneva: World Health Organization, 2006. https://controverses.minesparis.psl.eu/prive/promo05/C05/B7/Acteurs/who_chernobyl_report_2006.pdf
- [3] V. K. Ivanov, A. I. Gorski, M. A. Maksioutov, O. K. Vlasov, A. M. Godko, A. F. Tsyb, M. Tirmarche, M. Valenty, P. Verger, "Thyroid cancer incidence among adolescents and adults in the Bryansk region of Russia following the Chernobyl accident", *Health physics*, Vol. 84, No. 1, pp. 46-60, 2003. <https://doi.org/10.1097/00004032-200301000-00004>
- [4] P. W. Dickman, L. E. Holm, G. Lundell, J. D. Boice, P. Hall, "Thyroid cancer risk after thyroid examination with ^{131}I : a population-based cohort study in Sweden", *International Journal of Cancer*, Vol. 106, No. 4, pp. 580-587, 2003. <https://doi.org/10.1002/ijc.11258>
- [5] K. A. Tumanov, N. V. Shchukina, V. K. Ivanov, A. F. Tsyb, S. Yu. Chekin, V. V. Kashcheev, O. K. Vlasov, M. A. Maksioutov, "Radiation-epidemiological studies of thyroid cancer incidence in Russia after the Chernobyl accident (estimation of radiation risks, 1991-2008 follow-up period)", *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 151, No. 3, pp. 489-499, 2012. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncs019>
- [6] M. D. Tronko, G. R. Howe, T. I. Bogdanova, A. C. Bouville, O. V. Epstein, A. B. Brill, I. A. Likhtarev, D. J. Fink, V. V. Markov, E. Greenebaum, et al., "A cohort study of thyroid cancer and other thyroid diseases after the chornobyl accident: thyroid cancer in Ukraine detected during first screening", *Journal of the National Cancer Institute*, Vol. 98, No. 13, pp. 897-903, 2006. <https://doi.org/10.1093/jnci/djj244>
- [7] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and Effects of Ionizing Radiation (UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly with Scientific Annexes C, D and E), Vol. II. New York (NY, pp. United Nations; 2011. https://www.unscear.org/unscear/en/publications/2008_2.html
- [8] F. A. O. Joint, World Health Organization, "Criteria for Radionuclide Activity Concentrations for Food and Drinking Water, No. IAEA-TECDOC-1788", Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture, 2016. <https://inis.iaea.org/>
- [9] 2021 National Nutrition Statistics, Korea Health Industry Development Institute, <https://www.khidi.or.kr/nutristat>
- [10] Standards and Specifications for Food, "Ministry of Food and Drug Safety Notification, Chapter 2. Common standards and specifications for general, 3. Standards and specifications for general food", 2024
- [11] The milk fund management committee. <https://imilk.or.kr/>

- [12] Standards and Specifications for Food, "No 8.General Test Method, 9.harmful substance Test Method, 9.9 Radioactivity", 2024.
- [13] K. Eckerman, J. Harrison, H. G. Menzel, C. H. Clement, "ICRP publication 119: compendium of dose coefficients based on ICRP publication 60", *Annals of the ICRP*, Vol. 41, pp. 1-130, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.icrp.2012.06.038>
- [14] W. J. Ju, J. Y. Na, "Survey monitoring of environmental radioactivity in Gwangju area. No. KINS/HR--085 (V. 9)", Korea Institute of Nuclear Safety, 2001. https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:37062863
- [15] S. H. Lee, J. S. Oh, K. B. Lee, J. M. Lee, S. H. Hwang, M. K. Lee, E. H. Kwon, C. S. Kim, I. H. Choi, I. Y. Yeo, J. Y. Yoon, J. M. Im, "Evaluation of abundance of artificial radionuclides in food products in South Korea and sources", *Journal of Environmental Radioactivity*, Vol. 184, pp. 46-52, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2018.01.008>
- [16] Kang, Tae-Woo, Kyung Hong, and Won-Pyo Park. "¹³⁷Cs and ⁴⁰K Activities of Foodstuffs Consumed in Jeju." *Korean Journal of Environmental Agriculture*, Vol. 23, No. 1, pp. 52-58, 2004. <https://doi.org/10.5338/KJEA.2004.23.1.052>

K-MILK 인증 우유의 감마핵종 분석

장희진^{1,2}, 김효진¹, 계용욱¹, 이지은¹, 이동연², 강영록^{1,*}

¹동남권원자력의학원

²동의대학교 방사선학과

요 약

후쿠시마 원전 사고 이후 식품을 통한 방사능 섭취에 대한 관심이 매우 증가하였다. 방사능은 무색, 무미, 무취의 성질로 오염 여부를 판단하기 매우 어렵고, 섭취, 흡수 시에는 장기간 피폭으로 이어질 수 있어 식품의 방사능 안전을 확인하는 것은 중요하다. 특히 어린아이의 경우 성인에 비해 활발한 대사 활동을 하기 때문에 섭취 후 흡수에 대한 위험도가 크다고 판단되어 성인보다 엄격한 허용 기준을 적용하고 있다. 그럼에도 불구하고 방사능 오염에 대한 불안을 적지 않다. 이에 본 연구에서는 2021년 국민영양통계를 기준으로 전 연령에서 영유아기에 가장 섭취량이 많은 우유의 감마핵종을 분석하여 방사능 안전을 확인하고자 한다. 시료는 K-MILK 인증을 통해 국산 원료 100%로 제작된 국내 우유 10 종을 선정하였다. 시료 분석은 '식품의 기준 및 규격'의 방사능 시험 검사 방법에 따라 진행되었다. 분석 결과 10 종의 우유 모두 ¹³¹I, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs 핵종이 MDA(최초검출가능농도) 미만의 값으로, 불검출로 판단하였다. 이에 국산 원료로 제조된 우유에서 ¹³¹I, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs 핵종의 오염은 없는 것으로 판단되며 측정된 MDA 값을 이용하여 보수적으로 우유의 연간 섭취선량을 평가하였을 때 연간 유효선량한도의 0.001% 수준으로 국내 우유의 방사능 안전을 확인하였다.

중심단어: 식품방사능, 세슘, 요오드, 감마방출핵종, 고순도 게르마늄 검출기, 최소검출가능농도

연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(제1저자)	장희진	동남권원자력의학원 동의대학교 방사선학과	연구원 대학원생
(공동저자)	김효진	동남권원자력의학원	시니어연구원
	계용욱	동남권원자력의학원	시니어연구원
	이지은	동남권원자력의학원	연구원
	이동연	동의대학교 방사선학과	교수
(교신저자)	강영록	동남권원자력의학원	시니어연구원