

2013年 2月

碩士學位 論文

영유아 분유섭취에 의한 흡수선량과
방사능 분석방법에 따른 영향 평가

朝鮮大學校 大學院

原子力工學科

白 賢 石

영유아 분유섭취에 의한 흡수선량과 방사능 분석방법에 따른 영향 평가

The Effect evaluation follows absorbed dose and
Radioactivity Analysis Methods According to Infants
Powdered milk Ingestion.

2013年 2月 25日

朝鮮大學校 大學院

原子力工學科

白 賢 石

영유아 분유섭취에 의한 흡수선량과
방사능 분석방법에 따른 영향 평가

指導教授 李 庚 鎭

이 論文을 原子力工學 碩士學位申請 論文으로 提出함

2012年 10月

朝 鮮 大 學 校 大 學 院

原 子 力 工 學 科

白 賢 石

白賢石의 碩士學位論文을 認准함

委員長 朝鮮大學校 副教授 金 辰 源 (印)

委 員 朝鮮大學校 教 授 鄭 運 官 (印)

委 員 朝鮮大學校 教 授 李 庚 鎭 (印)

2012 年 11 月

朝鮮大學校 大學院

목 차

표 목차	3
그림 목차	5
ABSTRACT	6
제1장 서 론	1
제2장 본 론	4
제1절 국내·외 현황	4
1. 수입식품에 대한 방사능 오염도 평가 및 규제에 대한 국내 사례	3
2. 수입식품에 대한 방사능 오염도 평가 및 규제에 대한 외국 사례	6
3. 나라별 식품에 대한 방사능 허용기준 변천	10
4. 식품의 방사능 분석에 관련한 국제 규격과 국내의 ‘잠정허용 기준시험법’ 비교	12
제2절 실험장치 및 방법	16
1. 전처리	16
2. 실험장치	21
3. 실험 이론	25
제3절 분유의 방사능농도 계측 결과	31
제4절 섭취량의 대한 선량 평가	41

1. 신생아 연간 섭취량	41
2. 섭취량에 따른 연간 피폭선량 평가.....	42
3. 결과.....	43
4. 피폭선량 계산.....	46
제3장 결론 및 향후과제	53

표 목 차

표 1.1.1 우리나라 식품 중 방사능잠정허용기준(고시 제1989-19호, 1989.05.23.)	· 1
표 1.1.2 우리나라 식품 중 방사능 허용기준2	· 2
표 1.1.3 CODEX(38차 CCFAC, 2006.04.24 ~ 28)	· 3
표 2.1.1 수입식품의 방사능 오염에 대한 국내 감시현황	· 5
표 2.1.2 수입식품의 방사능 오염에 대한 해외 감시 현황	· 7
표 2.1.3 EU의 방사능 오염 감시 기준(Concil Regulation (EC) No 616/2000)	· 9
표 2.1.4 미국 FDA 방사능 오염 감시 기준(1998)	· 9
표 2.1.5 각국의 식품방사능 오염 규제치	· 11
표 2.1.6 국가별 기관의 감마시료 식품 전처리법	· 13
표 2.1.7 국가별 HPGe 감마 분석시 측정 시간	· 14
표 2.2.1 실험에 사용한 검출기 제원	· 21
표 2.2.2 혼합감마선원의 핵종별 에너지	· 26
표 2.2.3 Geometry에 따른 에너지 교정식	· 28
표 2.2.4 Geometry에 따른 효율 교정식	· 29
표 2.3.1 SAMPLE-A 측정결과	· 31
표 2.3.2 SAMPLE-B의 측정결과	· 33
표 2.3.3 SAMPLE-C의 측정결과	· 35
표 2.3.4 SAMPLE-D의 측정결과	· 37
표 2.3.5 SAMPLE-E의 측정결과	· 39
표 2.4.1 영유아의 평균 체중	· 41
표 2.4.2 영유아의 분유 섭취량	· 41
표 2.4.3 피폭 연령군에 따른 기준	· 42
표 2.4.4 SAMPLE-A의 방사능 측정량	· 43
표 2.4.5 SAMPLE-B의 방사능 측정량	· 43
표 2.4.6 SAMPLE-C의 방사능 측정량	· 44
표 2.4.8 SAMPLE-E의 방사능 측정 결과	· 45
표 2.4.9 방사성핵종의 선량환산인자	· 46

표 2.4.10 섭취에 의한 방사성핵종으로부터 받는 내부피폭선량(ICRP-72)47
표 2.4.11 섭취에 의한 방사성핵종으로부터 받는 내부피폭선량(TECD0C-1162) 50

그림 목 차

그림 2.1.1 일본산 수입식품 현황(식약청)	4
그림 2.2.1 채취한 시료	17
그림 2.2.2 건조법 전처리 단계	19
그림 2.2.3 회화시료의 전처리 단계	20
그림 2.2.4 HPGe 스펙트럼 분석 절차	22
그림 2.3.1 SAMPLE-A 건조시료	32
그림 2.3.2 SAMPLE-A 회화시료	32
그림 2.3.3 SAMPLE-B 건조시료	34
그림 2.3.4 SAMPLE-B 회화시료	34
그림 2.3.5 SAMPLE-C 건조시료	36
그림 2.3.6 SAMPLE-C 회화시료	36
그림 2.3.7 SAMPLE-D 건조시료	38
그림 2.3.8 SAMPLE-D 회화시료	38
그림 2.3.9 SAMPLE-E 건조시료	40
그림 2.3.10 SAMPLE-E 회화시료	40

ABSTRACT

Natural radio nuclides in every life environment have existed since the creation of the earth. As a large quantity of man-made radioactive substances have emitted due to numerous nuclear explosion experiments in late 1950s and early 1960s, the nuclear power plant accident in Chernobyl of former Soviet Union in 1986, and the nuclear power plant accident of Fukushima of Japan in 2011, radio nuclides, which exist in various types, have become cause of external exposure and internal exposure of human through food chain relations.

After the nuclear power plant accident in Fukushima of Japan, many countries like the U.S., New Zealand and Korea etc have reinforced regulation on food import and export to prevent circulation of foods contaminated by artificial radioactive substances emitted to the environment, and the nations are managing radioactivity pollution status by preparing regulation standards that meet the reality of applicable country and composing reports on it each year.

In case of babies and infants, radioactive sensitivity should be considered sufficiently, however since no separate standard has been established, dosage evaluation and survey methods are limited. Therefore, since evaluation methods for babies and infants are insufficient, there are increasing degrees of anxiety for those fostering babies and infants.

In this study, for selection of samples, milk powders of milk powder manufacturer circulated in the market were selected arbitrarily, and with about 5kg collected as sample, same experiment method was executed to reduce error. Experiments were done in two methods, dry method and chemical method, and as a result of measuring with 10,000 sec and 80,000 respectively, slightly different analysis values resulted by measuring time, however as a result of calculating annual exposure dosage amount, the annual exposure dosage amount, about 1/10,000 of regulation value, was evaluated as falling behind the exposure amount of general natural radio nuclides. Also in dry method and chemical method respectively, detected values differed slightly, but were still negligible, and

also in comparison by measuring time, dosage amount was evaluated as negligible compared with annual regulation value.

The milk powders sold in the nation presently, though they are below regulation value in radio nuclides level, require more analyses of samples and active countermeasures in that they are taken in by babies and infants. Based on this study results, the degrees of radioactive pollution on babies and infants food should be evaluated continuously and systematically, and in the nation where only gamma nuclides are put under radioactivity analysis, alpha nuclides and beta nuclides also are required analyzed as is done overseas.

As for the regulation on the radioactive pollution of food, whether certain food is polluted by radioactivity or not is determined only by the level of regulation value, but since the foods are taken in by babies and infants, precise degree of risk of radioactivity by food intake will need be evaluated.

In other words, the degree of risk of radioactivity that affects babies and infants through annual intake of food should be evaluated through delivery of accurate information and accumulation of vast amount of data rather than by relying on limited scope of data regarding food intake of babies and infants. Also, survey on the status of systematic radioactive pollution will need be conducted sustainably later on through continued evaluation of risk degree.

제 1 장 서 론

생활환경 속에 존재하는 자연방사성 핵종은 지구 생성과 동시에 존재해 왔으며 1950년대 말과 1960년대 초에 수행된 수많은 핵폭발실험 및 1986년 구소련의 체르노빌 원자력발전소 사고와 2011년 후쿠시마 원자력발전소 사고 등으로 많은 양의 인공방사성 물질이 방출되었고 다양한 형태로 존재하며 먹이사슬관계를 통해 인간의 외부피폭과 내부피폭의 원인이 된다.

외부피폭의 경우에는 주로 우주선 및 지각구성이 원인으로 인체에 영향을 받으며, 내부피폭은 주로 사람의 음식물 섭취와 호흡을 통해 인체 내로 들어오는 것에 기인한다.

후쿠시마 원전사고 후 유럽을 포함하여, 미국, 뉴질랜드, 한국 등 수출·입 식품 중 환경으로 방출된 인공방사능에 의해 오염된 식품의 유통을 방지하기 위해 수출입 식품에 대한 오염규제가 강화되었고, 방사능 오염실태에 관한 보고서를 매년 작성하여 관리하고 있으며 해당 국가의 실정에 맞게 규제기준을 마련하여 이용하고 있다.

국내의 경우에는 원자력시설 주변 환경의 오염에 대해서 한국원자력안전기술원, 한국수력원자력주식회사, 민간감시센터, 대학의 연구시설 등으로 감시하고 있다.

한국에 반입되는 식생활과 관련된 식품 중 방사능 오염규제는 식품의약품안전청에서 나라별로 잠정허용기준을 제정하여 관리하고 있다. 식품의약품 안전청의 방사능 잠정허용기준을 살펴보면 아래 표 1.1.1과 같다.¹⁾

표 1.1.1 우리나라 식품 중 방사능잠정허용기준(고시 제1989-19호, 1989.05.23.)

핵 종	대상 식품	기준(Bq/kg, L)
I-131	유 및 유가공품	150
	기타식품	300
Cs-134 + Cs-137	모든식품	370

하지만, 후쿠시마 원전의 사고를 계기로 국내의 식품 중 방사능 오염규제는 크게 일본을 원산지로 하는 식품과 그 외 지역으로 바뀌게 되었다. 바뀐 오염규제는 아래 표 1.1.2와 같다.

표 1.1.2 우리나라식품 중 방사능 허용 기준(2012.04.01.)

핵 종	대상 식품	기준(Bq/kg, l)	
		그 외 지역	일본산
I-131	유 및 유가공품	100	100
	기타식품	300	300
Cs-134 + Cs-137	유 및 유가공품	370	50
	음료수	370	10
	기타식품	370	100

I-131의 경우에는 두 부분으로 나누어서 규제하고 새롭게 바뀐 기준으로 일본산과 그 외 지역으로 구분하였고, Cs-134 + Cs-137의 경우는 구분이 없었으나 지역을 구분함으로써, 후쿠시마 원전사고 이후 일본에 대한 기준이 강화되었음을 알 수 있다.

ICRP-60(국제방사선방호위원회)에서 제시한 유효선량한도와, 영국의 Standards agency에서 계산한 결과를 보면 식품 중 Cs-137의 방사능 허용 농도는 370Bq/kg 이고, 다른 방사성 핵종의 식품 중 허용규제치도 위와 같은 방법으로 계산되었으며, 대부분의 나라에서 이 값들을 식품 중 방사능 규제치로 정하고 있다. 인공 방사성 핵종인 Cs-137은 Cs-134와 더불어 사고 시 다른 핵종에 비해 생성량이 많으며, 반감기도 긴 편에 속하고, 다른 알바, 베타핵종의 전처리 시간과 분석 등에 신속한 편이므로 감시 핵종으로 많이 이용되고 있다.

최근 국제 식품 규격위원회(CODEX)에서는 식품중의 방사능 규제농도를 세분화 및 규제핵종을 추가하여 새로운 규제를 발표하였다. CODEX의 새로운 기준은 아래 표 1.1.3 와 같다.

표 1.1.3 CODEX(38차 CCFAC, 2006.04.24 ~ 28)⁴⁾

Radionuclides in food	Guideline	
	Lever (Bq/kg)	
	Infant food	Other food
Pu-238, Pu-239, Pu-240, Am-241	1	10
Sr-90, Ru-106, I-129, I-131, U-235	100	100
S-35, Co-60, Sr-89, Ru-103, Cs-134, Cs-137, Ce-144, Ir-192	1000	1000
H-3, C-14, Tc-99	1000	10000

현재 우리나라의 경우 한국농촌경제연구원의 발표에 따르면 곡물을 기준으로 했을 때 2004년도 식량자급률을 25.3%에 불과해 우리 국민이 1년 동안 소비하는 식량의 3/4를 유럽 및 핵실험국가인 중국, 미국 그리고 후쿠시마 원전사고가 일어난 일본에서 수입하고 있는 실정이다.

영유아의 경우 방사성 민감성을 충분히 고려해야 하지만 따로 제정된 기준이 없으므로 선량평가와 조사방법이 제한적이다. 이에 따라, 영유아에 대한 기준이 되는 평가방법이 미비하다 보니 영유아를 양육하는 입장에서의 불안감이 가중되고 있는 실정이다.

영유아에 대해서는 성인의 기준보다 섭취에 따른 방사능 오염정도를 구체적이고 체계적으로 분석하기 위해서 정량적인 평가가 필요하며, 연구결과를 통한 영유아의 수입 식품에 대해 방사능 오염도의 추세 평가가 필요하다.

본 실험을 통해 영유아의 식품에 대해 분석방법에 의한 분석 효율 및 최소검출한한치(MDA : Minimum Detectable Activity)에 대해 평가하였고, 방사능 농도와 제한적이지만 농도별로 섭취에 따른 선량평가가 수행되었다.

제 2 장 본 론

제 1 절 국내·외 현황

1. 수입식품에 대한 방사능 오염도 평가 및 규제에 대한 국내 사례

국내 수입 식품의 방사능 오염도 평가에 관한 사례 및 규제관련 법규 문헌의 지속적인 조사가 필요하다. 현재 국내의 경우에는 식품의약품안전청을 비롯하여 농림수산물검역검사본부, 광역시·도 보건환경연구원, 지역별 생활환경방사능분석센터등에서 수입 식품의 방사능 오염에 대한 감시현황을 파악하고 자료를 수집하고 있다. 그러나 상호 정보교류의 문제, 전문 인력의 부족, 분석방법의 차이, 시료확보의 어려움, 조사시료의 범위의 한계 등으로 체계적이고 전반적인 감시가 방사능 감시 선진국에 비해 어려움을 겪고 있다.

2010년 일본산 식품의 수입 건수는 46,350건으로 전체 수입건수의 15.8%를 차지하고 있고 2011년의 경우 일본산 식품의 수입건수는 36,090건으로 전체 수입건수의 11.5% 차지하고 있다.

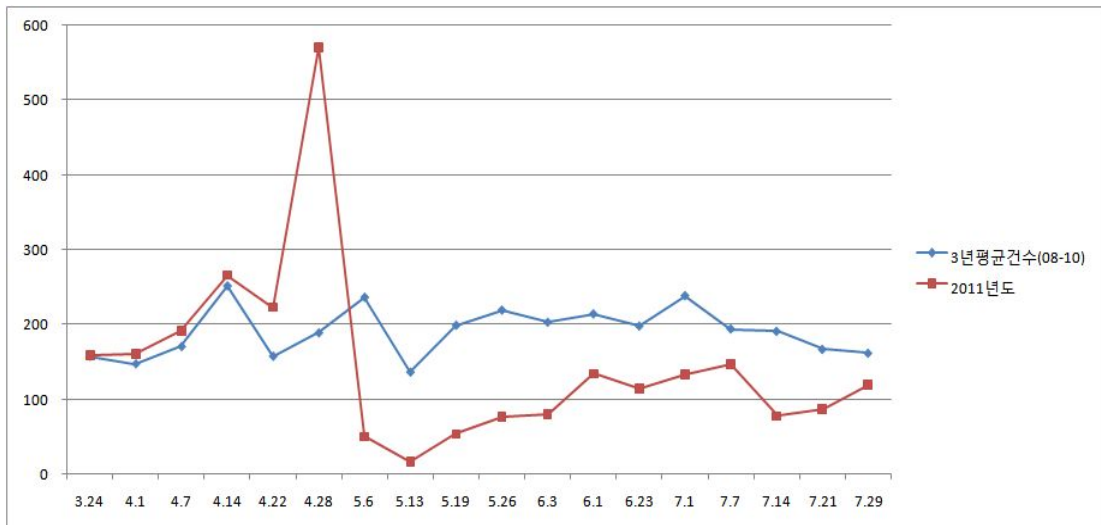


그림 2.1.1 일본산 수입식품 현황(식약청)

그림 2.1.1은 일본산 수입식품의 현황을 그래프로 나타내고 있는데, 5월 이후 급감하는 것을 확인 할 수 있다.

국내의 경우 2011년 4월 이후로 출하제한지역의 생산품목에 대한 수입을 잠정적으로 중단하였고, 출하제한지역의 기타식품과 8개 도현의 모든 식품에 대해 정부증명서의 제출을 요구하고 매 수입건마다 검사를 실시하고 있다.

수입식품의 검사기관에서도 2011년 방사능 신속검사법을 도입하여 방사능 오염 여부를 우선 판별하고 오염 가능 품목은 기준 초과 정도를 정밀 분석하고 있다. 그리고 정밀검사장비를 이용하여 정밀검사를 실시하고 있다. 또한 2012년에는 식품 중 방사능 기준이 신설 또는 개정되어 방사능에 대한 기준이 강화되었고, 최근 식습관 변화와 영유아의 방사능 요오드 민감성을 고려하여 기존의 우유 이외의 별도기준을 신설하였다.

현재 국내의 수입식품에 대한 기본 방향은 첫째, 국내의 방사능 오염 식품이 유입되지 않도록 관리를 철저히 하는 것, 둘째, 선진국 동향 등을 분석하여 방사능 기준 및 위해평가자료의 지속적인 검토, 셋째, 국내외 유사사고 발생에 대비한 식품안전 신속 대응 지침 운영 등이 있다.

표 2.1.1 수입식품의 방사능 오염에 대한 국내 감시현황

	주관기관	실무기관	검체/분석 기관	규제근거 및 시작년도	감시핵종	분석법
한 국	보건복지부 식약청	각 지청	실무기관 과 동일	보건복지 부 고시 제89-19호 에 의해 제정	감마핵종	식약청의 '방사능 잠정허용 기준시험 법'

2. 수입식품에 대한 방사능 오염도 평가 및 규제에 대한 외국 사례

미국을 비롯한 EU, 일본, CODEX등 대부분의 선진국과 국제기구에서는 식품의 Cs-137의 허용 농도를 370Bq/kg으로 정하고 있으며, 다른 방사성 핵종도 ICRP-60(국제방사선 방호위원회)에서 제시한 유효선량한도와, 영국의 Standards agency에서 계산한 결과를 바탕으로 규제치를 정하였다. 하지만 현재 여러 나라에서 이론적·실험적 분석이 사회적 추세에 맞춰 개정되거나 개정이 진행 중에 있다.

또한, 자국의 특성에 맞게 수입식품에 대한 방사능 오염도 평가하고 있으며, 각국의 규제기관, 규제근거, 담당부서, 규제치 이상 시에 대한 지속적인 관리를 진행 중에 있다. 이에 대한 외국의 수입식품의 대한 방사능 오염 감시현황을 비교 검토 하였다.

가. 유럽연합(EU) : 식품의 종류별로 분석법을 개발하였으며 수입식품에 대한 방사능 규제를 일상화하고 있다. 영국의 경우에는 환경수산업부(DEFRA)에서 인정한 기관이 수출입 식품에 대한 인증서를 발급하고 있으며, 식품규격청(FSA)에서 매년 식품에 대해 감시하고 관리하고 있다. 후쿠시마 원전사고 이후 일본산 식품에 대한 기준을 강화하였고 회원국에 일본산 식품에 대해 방사능 검사를 권고하였다.

나. 일본 : 후쿠시마 원전사고를 계기로 수출입식품에 대한 방사능 규제를 강화하고 있으며, 공항이나 항구의 검역소에서 기본적인 방사능 오염 분석이 이루어지고 있다. 적발이 될 경우 월별로 국민들에게 공개하고 있다.

다. 미국 : 식품의약품안전국(FDA)에서 1961년 이후부터 자국산 및 발전소 주변의 생산 식품에 대해 감시를 해왔으며 후쿠시마 원전사고 이후로 일본에서 제조·생산하는 식품뿐만 아니라, 일본을 경유하는 모든 식품 검사를 실시하였다.

라. 중국 : 중국의 경우는 일본산 식품에 대한 방사능 검사를 실시하였고 12개 도현의 모든 식품 수입금지 조치와 12개 도현 이외에는 ‘방사능기준적합증명서’와 ‘산지증명서’를 요구 하고 있다.⁸⁾

표 2.1.2 수입식품의 방사능 오염에 대한 해외 감시 현황

	미국	뉴질랜드	영국	일본
주관기관	DHHS 산하의 FDA	MOH	DEFRA	후생노동성
실무기관	주관기관 산하의 CFSAN	주관기관 산하의 NRL	Scientifics(민간) FSA(정부)	각 권역별 검역소(1차)→ 국립위생시험소 (2차)
검체/분석 기관	주관기관 산하의 WEAC	실무기관과 동일	실무기관과 동일	실무기관과 동일
규제근거	FDA Compliance Policy Guide	1996년 CTBT 가입 후부터 국가간 방사능오염감시 개념 도입	Council Regulation	1986년에 '수입식품의 방사능잠정한도' 설정
규제핵종	감마, 베타, 알파 Cs-137이 110Bq/kg 이상이면 Sr-90 필수 분석	감마, 모든 식품 베타, 수입국에서 요구시 알파	감마, 베타, 알파	감마

DHHS : Department of Health & Human Services

CFSAN : Center for Food Safety Applied Nutrition

MOH : Ministry of Health

DEFRA : Department for Environment Food and Rural Affairs

FSA : Food Standard Agency Community

CTBT : Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty

FDA : Food and Drug Administration

NRL : National Radiation Laboratory

표 2.1.3 EU의 방사능 오염 감시 기준(Concil Regulation (EC) No 616/2000)

Radionuclides in Food	Maximum Permitted Level(Bq/kg)			
	Baby food	Dairy produce	Other foodstuffs Except minor Food stuffs	liquid foodstuffs
Sr-90	75	125	750	125
I-131	150	500	2000	500
Pu-239, Am-241	1	20	80	20
Cs-134, Cs-137	Milk & milk products 370			
	All other products			

표 2.1.4 미국 FDA 방사능 오염 감시 기준(1998)

Radionuclide Group	Derived intervention Level(Bq/kg)
Sr-90	160
I-131	170
Cs-134 + Cs-137	1200
Pu-238 + Pu-239 + Am-241	2
Ru-103 + Ru-106	$\frac{C(^{103}Ru)}{6800} + \frac{C(^{106}Ru)}{450} < 1$

3. 나라별 식품에 대한 방사능 허용기준 변천

체르노빌 사고, 후쿠시마 원전사고와 방사선사고 후 오염된 식품섭취에 따른 영향은 대개 만성효과로 나타난다. 만성효과에 대한 위험성을 평가하기 위해서는 여러 가지 선량평가가 사용되는데 식품섭취로 인한 개인의 내부피폭 평가는 예탁유효선량과 집단 유효선량을 이용한다. 이에 따른 피폭기간은 성인은 50년, 영유아에 대해서는 70년을 고려하고 있다.

식품의 따른 오염에 대한 통제는 방사선사고 후 비상시(상황 발생 후 1년)와 장기간으로 나뉘어서 구분하고 있다. 사고 등으로 인한 축적된 자료를 바탕으로 비상시 식품섭취의 제한 및 이론적 배경은 국제원자력위원회(IAEA)를 비롯하여, 세계 각 나라 및 우리나라의 한국원자력안전기술원(KINS)등에 비교적 자세하게 기술되어있다.

그러나 권고된 규제치의 경우 사고 후 1년으로 제한하였으며, 또한 세계 각 국의 경우 무역 시에는 다른 규제치를 사용하고 있는 실정이다. 또한 각 국의 규제기준 및 규제핵종을 다르게 적용하고 있는 실정이다.

현재는 많은 역학데이터의 축적으로 기존의 평가 값에 대해서 너무 보수적이라는 평가가 지배적이다. 이로 인해 각 나라는 자국에 현실을 고려하여 각 각 다른 규제기준을 적용해 시행하고 있다.

표 2.1.5 각국의 식품방사능 오염 규제치⁴⁾

Nucildes	Guideline levels 랭 artificial radionuclides (Bq/kg,L)					
	Baby food (Infant foods)		Dairy produce	Other Food stuffs		Liquid foodstuff s
	USA(86)	EU(90)	EU(90)	USA(86)	EU(90)	EU(90)
Pu-239, Am-241		1	20	(2)	80	20
Sr-90		75	125	(160)	750	125
Cs-134 + Cs-137	370	370	370	370 (1200)	600	600
I-131	55	150	500	300 (170)	2000	500
All others		400	1000		1250	1000
> $t_{1/2}$ 10days		(30)	(630)		(650)	(400)

4. 식품의 방사능 분석에 관련한 국제 규격과 국내의 ‘잠정 허용기준시험법’ 비교

국가와 국제기관의 자료를 수집 후 비교 검토 하였다. 결과를 살펴보면, HPGe 검출기로 감마분석을 할 때 각 국가 및 기관별로 차이가 있는걸 알 수 있었다. 국내의 경우 표준화된 분석지침서를 개발하는데 이를 참조하였다. 특히 식품에 관하여서는 상황에 따라 전처리 과정의 일부 생략 및 측정시간을 짧게 하여 분석하는 스크리닝 기법(screening technique)를 도입하여 국내 사정에 맞게 바꾸어 방사능 감시의 신속성과 효율성을 증대 시켰다.⁹⁾

식품 중 방사능을 측정·분석하여 결과 산출 시 그 결과를 이용하는 사람이 신뢰성을 판단할 수 있도록 측정결과의 신뢰도를 나타내는 값을 측정결과와 함께 나타내야 하는데, 1993년 이전까지는 정밀도 및 정확도와 더불어 표준편차 등 여러 가지 개념이 사용되었는데 적절한 보정을 한다 하더라도 참값과의 결과와 얼마나 차이가 있는가에 대한 의문이 있었다. 이로 인해 새롭게 불확도라는 개념이 적용되었으며 새로운 지침의 개발이 필요하게 되었다.

또한, 경제의 세계화 및 블록화의 진행에 따른 각국의 평가 기준이 달라 측정결과를 쉽게 비교할 수 있고 불확도를 평가하는 방법의 통일성이 필요하게 되었다. 이러한 이유로 인해 ISO(국제표준화기구)에서는 여러 국제기구와 더불어 측정불확도 표현지침서를 발행하였으며, 전 세계적으로 많은 분야에 이 지침서의 불확도를 구하는 방식이 적용되고 있다.

국내의 경우도 KRISS(한국표준과학연구원)과 KAERI(한국원자력연구소)에서 HPGe의 교정지침서를 발행하여 검출기 교정 시 적용하고 있고, 식품의약품 안전청에서도 이를 도입하여 국제수준의 신뢰도를 확보하고 있다.

표 2.1.6 국가별 기관의 감마시료 식품 전처리법⁷⁾

기관명	처리 방법	전처리 과정
한국 식품의약품안전청(KFDA)		생체시료 → 건조(105℃) → 회화(500℃ 이하)
한국 원자력안전기술원(KINS)		생체시료 → 건조(80~90℃) → 회화(450℃ 이하)
한국 원자력 연구소(KAERI)		생체시료 → 건조(80~100℃) → 회화(450℃ 이하)
IAEA		생체시료 → 건조(105℃) → 회화(450℃ 이하)
미국 DOE 산하 EML		생체시료 → 건조(110℃) → 회화(400~600℃)
일본 JCAC		생체시료 → 건조(105℃) → 회화(550℃ 이하)
영구 NPL 산하의 NMSPU		생체시료 → 건조(100℃) → 회화(300~550℃)
뉴질랜드 MOH 산하의 NRL		빠른 스크리닝 기법 권장

표 2.1.7 국가별 HPGe 감마 분석시 측정 시간⁷⁾

분석기관	측정시간
미국 ANSI	원하는 측정불확도 이하까지 충분한 시간
미국 DOE 산하 EML	원하는 측정불확도 이하까지 충분한 시간
IEC	원하는 측정불확도 이하까지 충분한 시간
독일 DIN	원하는 MDA 값까지 충분한 시간
ISO	검출한계 도달시 까지 충분한 시간
미국 ASTM	검출한계 고려시 충분한 시간
미국 FDA 산하의 WEAC	100 MIN
한국 식품의약품안전청(KFDA)	10000SEC
뉴질랜드 MOH 산하의 NRL	7.5~23 hour
한국 원자력 연구소(KAERI)	8~24 hour
일본 원자력 연구소(JAERI)	22 hour
일본 JCAC	시료 : 30000~80000SEC 기저방사능 : 80000~240000SEC

JCAC : Japan Chemical Analysis Center
NPL : National Physical Laboratory
NMSPU : National Measurement System Policy Unit
MOH : Ministry of Health
NRL : National Radiation Laboratory
DOE : Department of Energy
EML : Environmental Measurements Laboratory
IAEA : International Atomic Energy Agency
WEAC : Winchester Engineering and Analytical Center
ASTM : American Society of Testing and Materials
ISO : International Organization for Standardization
DIN : Deutsche Industries Normen
IEC : International Electro-technical Commission
ANSI : American National Standards Institute

제 2 절 실험장치 및 방법

1. 전처리

가. 대상 시료의 선정

올해 상반기에 환경운동연합에서 발표한 자료에 따르면 국내 대기업의 분유에서 인공방사성핵종인 Cs-137이 검출되었다는 기사가 보도되었다. 모기업의 분유에서 0.391Bq/kg의 인공방사성핵종인 Cs-137이 검출이 되었다는게 골자로 한 기사였다.

하지만 검출된 수치는 극미량으로 식약청·농식품부·서울시 등에서는 국제적 허용기준치에 위반되지 않고 적합한 품목으로 무해하다는 발표를 하였다.

검출된 Cs-137의 국제적인 방사능 허용농도는 370Bq/kg으로 다른 핵종에 비해 신속하고 쉽게 분석이 가능하기 때문에 감시핵종으로 많이 이용하고 있다.

본 연구를 실행하기 위해서 시중에 유통되고 있는 분유제조회사의 분유를 무작위로 선정하여 약 5kg정도를 채취하였고 오차를 줄이기 위하여 동일한 실험방법을 택하였다.



그림 2.2.1 채취한 시료

나. 시료 전처리

일반적으로 분유의 경우 CAN형식으로 밀봉되어 유통하기 때문에 전처리시 오차를 줄이기 위해 일괄적으로 개봉한 후 시료채취봉투에 전량 담은 다음 셰이킹 후 실험방법에 따라 분말시료 자체를 측정할 경우에는 채취→건조→측정용기 충전의 전처리 과정을 거쳤고, 회화시료의 경우 채취→건조→회화→측정용기 충전의 과정을 거쳤다. 모든 시료의 분석량은 1kg으로 정하였고, 부득이하게 1kg이 어려운 시료의 경우 분석량을 계산하여 실험하였다. 측정시료는 분말 상태이며 측정시료용기는 2L Marinelli Beaker와 55ml Cylindrical Bottle를 사용하였다.⁹⁾

① 분말시료의 자체 측정 전처리

분말시료의 특성은 극 건조 상태의 저수분의 특성을 가지므로 일반적인 전처리 방법인 분쇄 과정을 생략하였다. 채취를 한 시료를 스테인리스트레이에 담은 후 일반건조기에서 110℃의 온도로 4~5시간 정도를 건조하였다. 그런 후 2L의 Marinelli Beaker에 1kg을 충전 후 HPGe고순도 게르마늄 검출기로 국내 식품 방사능 검사기준인 10000sec와 환경 방사능 검사기준인 80000sec로 계측하였다.

② 회화시료의 전처리

회화시료의 경우 동일한 분석량을 가져야 하므로 1kg을 450℃에서 24시간을 회화시켰다. 분유 회화의 경우 다른 생체시료의 회화와 달리 끓어오름이나 부풀어 오름이 없어 넘치지 않기 때문에 고르게 회화시키기 위해 일정 시간이 경과 후 회화용기를 뒤섞어 주었다. 회화된 시료를 상온에서 식수 후 55ml Cylindrical Bottle에 담아 HPGe고순도 게르마늄 검출기로 위와 동일하게 식품검사 기준인 10000sec와 환경 방사능 검사기준인 80000sec로 계측하였다.



그림 2.2.2 건조법 전처리 단계

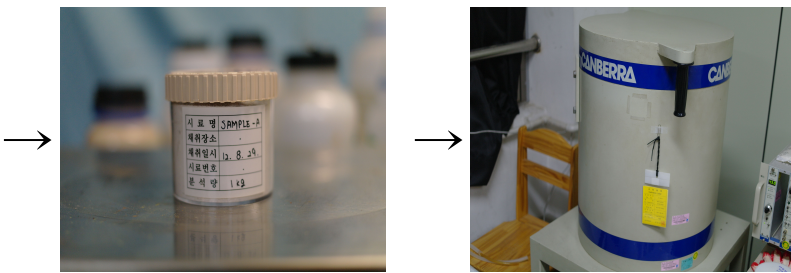


그림 2.2.3 회화시료의 전처리 단계

2. 실험장치

가. HPGe-고순도 게르마늄 검출기

본 실험에서 감마선 스펙트럼 검출 및 분석에 사용한 검출기기는 CANBERRA에서 제작한 고순도 게르마늄 감마스펙트럼 분석기로 감마선 에너지 및 방사능 측정을 위한 검출기이다.

검출기의 제원은 아래와 같다.

표 2.2.1 실험에 사용한 검출기 제원

항목	DET 1-2H0
Channel	8192
High Voltage	4,500 V
ADC Gain	8 K
Shaping Time	6 μ sec
Threshold	15 %
Input Polarity	+
Pur	ON
Relative Efficiency	30%
Model	CANBERRA GC301809
Program	Genie-2000

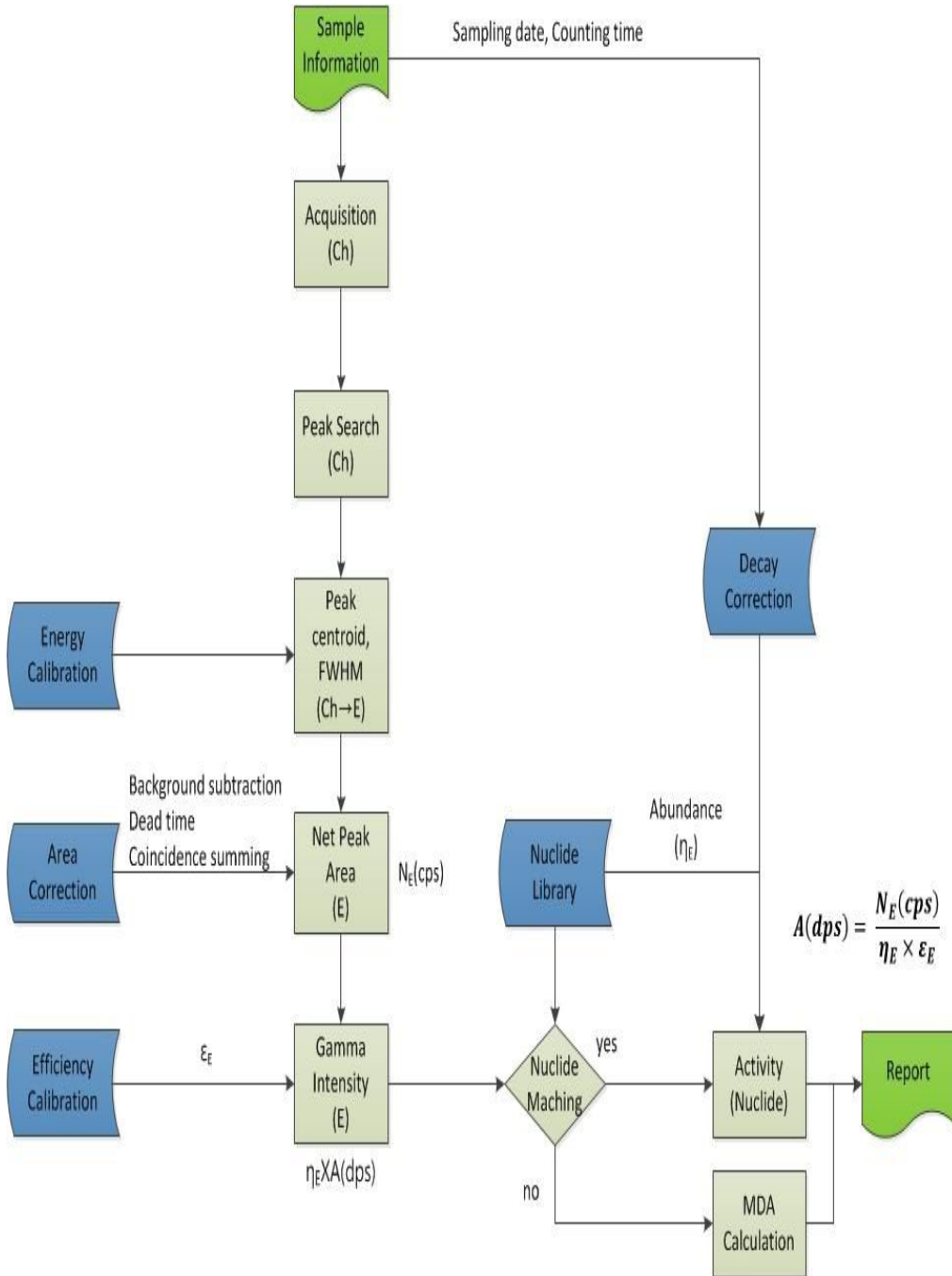


그림 2.2.4 HGe 스펙트럼 분석 절차

HPGe는 위 그림의 절차에 스펙트럼을 측정하게 된다. HPGe 고순도 게르마늄 계측기로 계측시 유의 사항은 아래내용과 같다.

- 인가전압 이상의 고전압을 가하지 않아야 한다.
- 액체직소의 충전량은 항상 LLD(45%)이상을 유지하여야 한다.
- 온도변화의 범위와 변화속도가 적어야 한다.($23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 의 범위가 좋다.)
- 습도가 50~60%의 범위가 바람직하다.
- 상용전원의 잡음이 없도록 좋은 접지를 유지한다.
- 방사능 오염에 대한 대비로 시료의 마무리는 따로 지정된 장소에서 하고, 백그라운드에 영향을 주는 강한 표준 선원 등을 근처에 보관하지 않는다.
- 위의 사항이 항상 만족하는지 상시 점검하여야 한다.

나. 건조기

분유의 경우 저수분의 건조 상태 시료이므로 전처리의 신속함을 위해 110℃의 온도로 4~5시간의 건조시간을 거쳤다. 열풍순환식 건조기 이므로 바람으로 인한 시료의 뒤섞임과 손실을 방지하기 위해 시료별로 건조를 따로 하였으며 오염을 최소화하기 위해 한 개의 시료 건조 후에 일정시간 환기를 시킨 후 다음 시료의 건조를 진행 하였다.

다. 전기도가니

회화시료의 경우 건조 후에 회화를 거치는 경우로 손실을 최소화하기 위해 최대한 회화하였다. 또한 일부 핵종은 회화 온도에 따라 휘발됨으로써 회수율이 크게 달라지기 때문에 회화 온도는 450℃를 유지하였다. 일반적으로 회화의 목적이 유기물의 농축에 있고, 대부분의 유기물 시료는 일반적으로 450℃에서 충분히 회화 된다.

라. 실험재료

시료의 경우 실제 판매되는 제품을 무작위로 선정하였으며, 생후 6개월까지의 시료로 한정하였다.

3. 실험 이론

가. 방사능 측정 시 MDA

시료의 방사능 측정에 있어서 일반적으로 통계학적 요동뿐만 아니라 측정과정에서의 오류나 계측기 자체의 오차 등이 계측에 영향을 준다. 그러므로 시료와 계측기의 정보를 고려하여 계수 또는 계수율로부터 방사능에 대한 최소검출방사능(MDA)을 사용한다. 최소검출농도의 경우 측정시간, 효율, 질량 또는 부피의 함수로 표현된다.

$$MDA = \frac{2.71 + 4.65\sigma_{\mu}}{t_b \times \epsilon_E \times m(V)} = \frac{2.17 + 4.65 \sqrt{r_B \times t_b}}{t_b \times \epsilon_E \times m(V)}$$

t_b : 기저방사능의 측정시간

r_B : 기저방사능의 계수율

최소검출농도의 값을 구함에 있어 효율 및 질량은 정해진 값이기 때문에 결국 측정 시간에 따라서 최소검출농도가 결정되게 된다. 결국 측정시간을 길게 하면 계측기의 최소 검출농도는 낮아지게 되는 것이다.⁵⁾⁶⁾

나. 계측기의 교정

시료를 분석하고 평가함에 있어서 방사능 계측장비는 보다 정밀하고 정확한 평가를 내릴 수 있어야 한다. 이에 장비의 교정에 사용하는 물질이 표준방사선원인데 장비의 교정을 위해 한국표준과학 연구원에서 방사능표준을 유지하고 있는 측정 장치로 표준화한 핵종을 이용하여 계측기의 검출장치에 의해 측정하였다.

표 2.2.2 혼합감마선원의 핵종별 에너지

핵 종	감마선 에너지(kev)	반감기(day)	Yield(%)
Am-241	59.54	158003	35.78
Cd-109	88.03	461.4	3.626
Co-57	122.06	271.80	85.51
	136.47		10.71
Ce-139	165.86	137.641	79.90
Cr-51	320.08	27.703	9.87
Sn-113	225.13	115.09	2.11
	391.70		64.97
Sr-85	514.00	64.850	98.5
Cs-137	661.66	10964	84.99
Co-60	1173.23	1925.2	99.85
	1332.49		99.98
Y-88	898.04	106.626	93.90
	1836.05		99.32

계측기의 경우 감마선의 에너지에 따라 계측 효율이 달라지므로 효율 교정을 수행하여야 하며 각 각의 geometry에 따른 효율 교정 식을 산출하여 샘플 계측 후 방사능 농도를 계산하여 적용한다.

표 2.2.3 geometry에 따른 에너지 교정식

TYPE	에너지 교정식
20ml Cylindrical Bottle Type	$E = -1.198e+000kev + 3.108e-001*ch + 1.303-008*ch^2$
40ml Cylindrical Bottle Type	$E = -1.302e+000kev + 3.108e-001*ch + 1.386-008*ch^2$
450ml Marinelli Beaker Type	$E = -1.319e+000kev + 3.108e-001*ch + 1.450-008*ch^2$
1000ml Marinelli Beaker Type	$E = -1.398e+000kev + 3.108e-001*ch + 1.443-008*ch^2$
2000ml Marinelli Beaker Type	$E = -1.427e+000kev + 3.108e-001*ch + 1.574-008*ch^2$

표 2.2.4 geometry에 따른 효율 교정식

TYPE	에너지 교정식
20ml Cylindrical Bottle Type	$\ln(\text{eff}) = -5.615e+0.01 + 2.250e+001 * \ln(E)$ $-2.343e+000 * \ln(E)^2$ $\ln(\text{eff}) = 8.333e+001 - 5.628e+001 * \ln(E) + 1.399e+001 * \ln(E)^2 -$ $1.548e+000 * \ln(E)^3 + 6.336e-002 * \ln(E)^2$ $\ln(\text{eff}) = -6.196e+001 + 2.511e+001 * \ln(E)$ $-2.647e+000 * \ln(E)^2$
40ml Cylindrical Bottle Type	$\ln(\text{eff}) = -7.455e+002 - 6.151e+002 * \ln(E) - 2.024e+002 * \ln(E)^2 +$ $3.314e+001 * \ln(E)^3 - 2.702e-002 * \ln(E)^4 + 8.774e-002 * \ln(E)^5$ $\ln(\text{eff}) = -5.798e+001 + 2.275e+001 * \ln(E)$ $-2.355e+000 * \ln(E)^2$
450ml Marinelli Beaker Type	$\ln(\text{eff}) = -5.122e+002 + 4.197e+002 * \ln(E) - 1.375e+002 * \ln(E)^2 +$ $2.245e+001 * \ln(E)^3 - 1.827e-000 * \ln(E)^4 + 5.924e-002 * \ln(E)^5$ $\ln(\text{eff}) = -6.408e+001 + 2.537e+001 * \ln(E)$ $-2.652e+000 * \ln(E)^2$
1000ml Marinelli Beaker Type	$\ln(\text{eff}) = -6.763e+002 + 5.492e+002 * \ln(E) - 1.783e+002 * \ln(E)^2 +$ $2.882e+001 * \ln(E)^3 - 2.322e-000 * \ln(E)^4 + 7.454e-002 * \ln(E)^5$ $\ln(\text{eff}) = -6.744e+001 + 2.671e+001 * \ln(E)$ $-2.801e+000 * \ln(E)^2$
2000ml Marinelli Beaker Type	$\ln(\text{eff}) = -5.916e+002 + 4.779e+002 * \ln(E) - 1.546e+002 * \ln(E)^2 +$ $2.492e+001 * \ln(E)^3 - 2.002e-000 * \ln(E)^4 + 6.414e-002 * \ln(E)^5$

에너지 및 효율 교정을 실시한 후 각각의 geometry에 따른 혼합감마선원의 방사능인 증 값과 분석기기의 계측 값을 비교한 결과 양호한 것으로 나타났고, 분석오차가 모두 $\pm 5\%$ 이내로 교정 결과가 양호한 것을 알 수 있다.

제 3 절 분유의 방사능농도 계측 결과

1. SAMPLE-A

본 실험에 사용된 SAMPLE-A는 시중에 유통되고 있는 분유로 생후 6개월까지의 신생아를 대상으로 한 분유이다. 포장된 CAN 당 800g으로 밀봉 포장되어있고, 무작위로 선택한 CAN 5kg을 시료채취봉투에 담아 섞이게 하였다. 시료는 2000ml Marinelli beaker에는 채취 후 건조하여 beaker에 바로 충전하였고 55ml Cylindrical Bottle에는 채취 후 건조하여 회화 후 Bottle에 충전하였다. 분석량은 2000ml Marinelli beaker와 55ml Cylindrical Bottle에 1kg으로 동일하게 적용하였고, 계측시간은 10000sec와 80000sec로 setting하였다.

표 2.3.1 SAMPLE-A 측정결과

beaker type	counting time	전처리 방식	측정 방사능 농도(Bq/kg)
2000ml Marinelli beaker	10000sec	건조법	I-131 : < 3.29
			CS-134 : < 0.342
			CS-137 : < 0.491
2000ml Marinelli beaker	80000sec	건조법	I-131 : < 3.51
			CS-134 : < 0.139
			CS-137 : 0.696 ± 0.0512
55ml Cylindrical Bottle	10000sec	회화법	I-131 : < 1.07
			CS-134 : < 0.144
			CS-137 : 0.492 ± 0.0542
55ml Cylindrical Bottle	80000sec	회화법	I-131 : < 0.0953
			CS-134 : < 0.0491
			CS-137 : 0.455 ± 0.0241

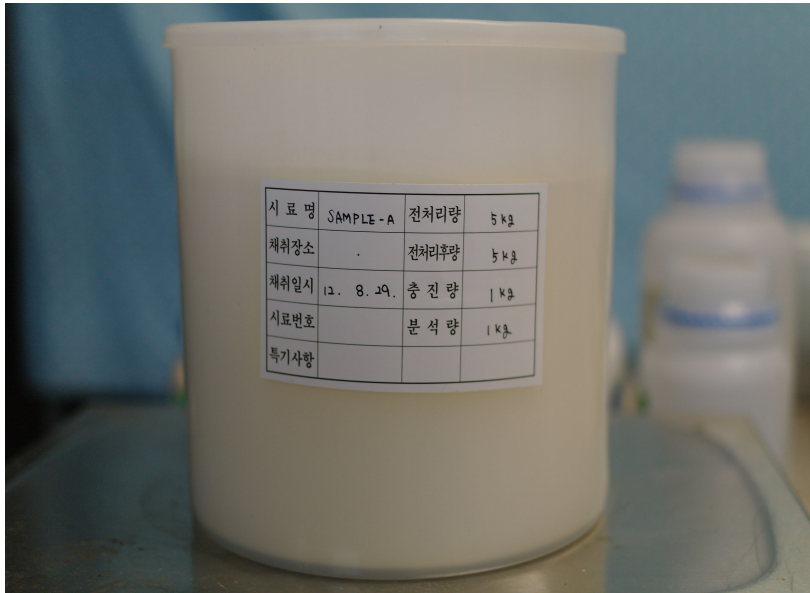


그림 2.3.1 SAMPLE-A 건조시료



그림 2.3.2 SAMPLE-A 회화시료

2. SAMPLE-B

본 실험에 사용된 SAMPLE-B는 시중에 유통되고 있는 분유로 생후 6개월까지의 신생아를 대상으로 한 분유이다. 포장된 CAN 당 800g으로 밀봉 포장되어있고, 무작위로 선택한 CAN 5kg을 시료채취봉투에 담아 섞이게 하였다. 시료는 2000ml Marinelli beaker에는 채취 후 건조하여 beaker에 바로 충전하였고 55ml Cylindrical Bottle에는 채취 후 건조하여 회화 후 Bottle에 충전하였다. SAMPLE-B의 분석량은 회화 후 다른 시료보다 회수율이 커 계산하여 2000ml Marinelli beaker에 0.805KG을 충전하였고, 55ml Cylindrical Bottle에는 2000ML Marinelli beaker의 충전량과 맞추어 충전하였다. 측정시간은 10000sec와 80000sec로 setting하였다.

표 2.3.2 SAMPLE-B의 측정결과

beaker type	counting time	전처리 방식	측정 방사능 농도(Bq/kg)
2000ml mirinelli beaker	10000sec	건조법	I-131 : < 2.15
			CS-134 : < 0.236
			CS-137 : < 0.274
2000ml mirinelli beaker	80000sec	건조법	I-131 : < 4.85
			CS-134 : < 0.183
			CS-137 : < 0.211
55ml Cylindrical Bottle	10000sec	회화법	I-131 : < 1.40
			CS-134 : < 0.172
			CS-137 : < 0.192
55ml Cylindrical Bottle	80000sec	회화법	I-131 : < 0.138
			CS-134 : < 0.0669
			CS-137 : 0.0992 ± 0.0201

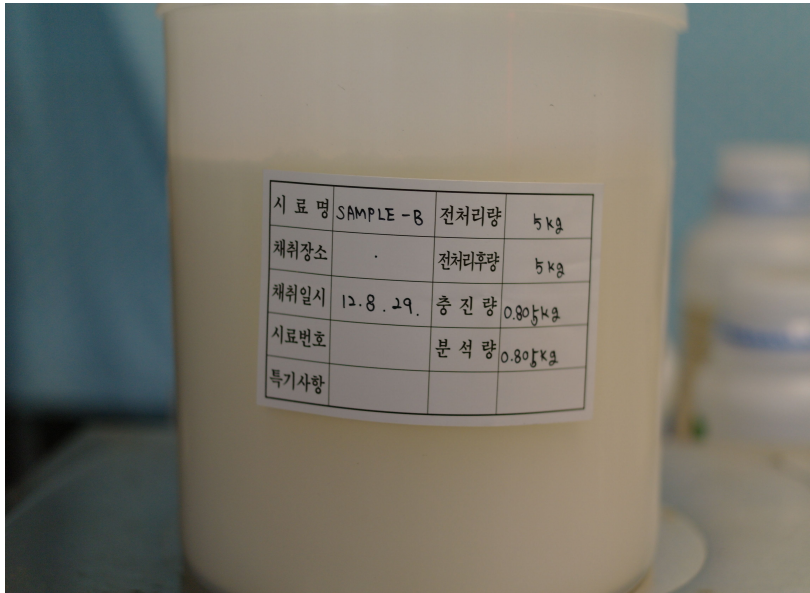


그림 2.3.3 SAMPLE-B 건조시료

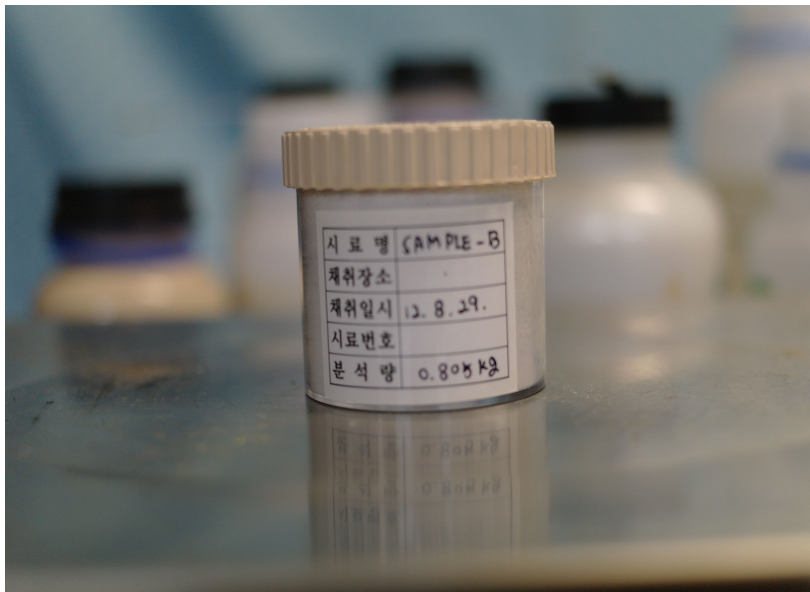


그림 2.3.4 SAMPLE-B 회화시료

3. SAMPLE-C

본 실험에 사용된 SAMPLE-C는 시중에 유통되고 있는 분유로 생후 6개월까지의 신생아를 대상으로 한 분유이다. 포장된 CAN 당 800g으로 밀봉 포장되어있고, 무작위로 선정한 CAN 5kg을 시료채취봉투에 담아 섞이게 하였다. 시료는 2000ml Marinelli beaker에는 채취 후 건조하여 beaker에 바로 충전하였고 55ml Cylindrical Bottle에는 채취 후 건조하여 회화 후 Bottle에 충전하였다. 분석량은 2000ml Marinelli beaker와 55ml Cylindrical Bottle에 1kg으로 동일하게 적용하였고, 측정시간은 10000sec와 80000sec로 setting하였다.

표 2.3.3 SAMPLE-C의 측정결과

beaker type	counting time	전처리 방식	측정 방사능 농도(Bq/kg)
2000ml Marinelli beaker	10000sec	건조법	I-131 : < 3.78
			CS-134 : < 0.374
			CS-137 : < 1.89
2000ml Marinelli beaker	80000sec	건조법	I-131 : < 3.78
			CS-134 : < 0.133
			CS-137 : < 0.174
55ml Cylindrical Bottle	10000sec	회화법	I-131 : < 0.204
			CS-134 : < 0.139
			CS-137 : < 0.144
55ml Cylindrical Bottle	80000sec	회화법	I-131 : < 0.0766
			CS-134 : < 0.0778
			CS-137 : 0.0550 ± 0.00984

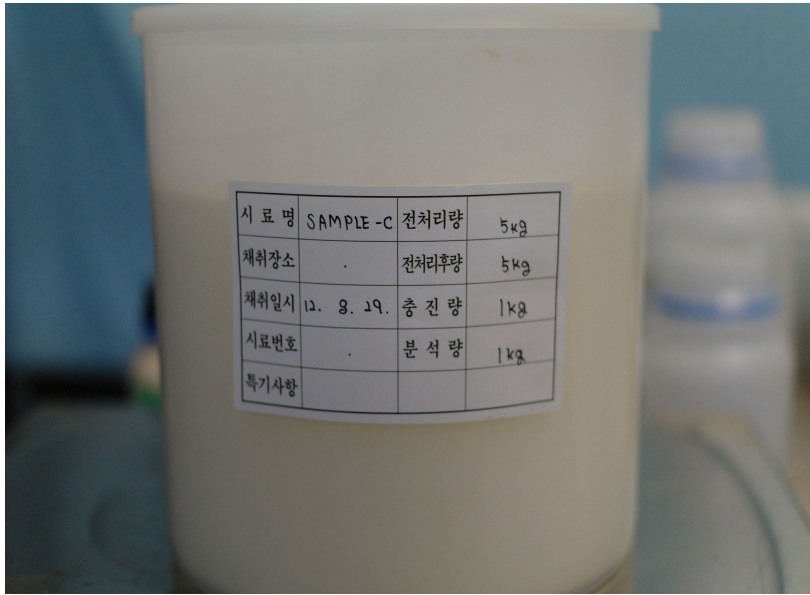


그림 2.3.5 SAMPLE-C 건조시료

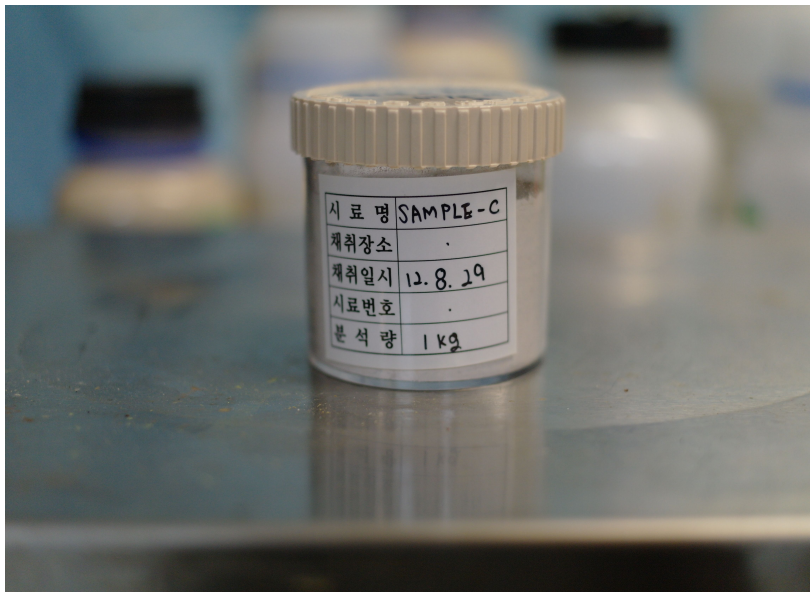


그림 2.3.6 SAMPLE-C 회화시료

4. SAMPLE-D

본 실험에 사용된 SAMPLE-D는 시중에 유통되고 있는 분유로 생후 6개월까지의 신생아를 대상으로 한 분유이다. 포장된 CAN 당 800g으로 밀봉 포장되어있고, 무작위로 선정한 CAN 5kg을 시료채취봉투에 담아 섞이게 하였다. 시료는 2000ml Marinelli beaker에는 채취 후 건조하여 beaker에 바로 충전하였고 55ml Cylindrical Bottle에는 채취 후 건조하여 회화 후 Bottle에 충전하였다. 분석량은 2000ml Marinelli beaker와 55ml Cylindrical Bottle에 1kg으로 동일하게 적용하였고, 측정시간은 10000sec와 80000sec로 setting하였다.

표 2.3.4 SAMPLE-D의 측정결과

beaker type	counting time	전처리 방식	측정 방사능 농도(Bq/kg)
2000ml Marinelli beaker	10000sec	건조법	I-131 : < 3.07
			CS-134 : < 0.320
			CS-137 : < 0.330
2000ml Marinelli beaker	80000sec	건조법	I-131 : < 2.87
			CS-134 : < 0.124
			CS-137 : < 0.127
55ml Cylindrical Bottle	10000sec	회화법	I-131 : < 1.19
			CS-134 : < 0.146
			CS-137 : < 0.152
55ml Cylindrical Bottle	80000sec	회화법	I-131 : < 0.0946
			CS-134 : < 0.0452
			CS-137 : 0.0347 ± 0.00932

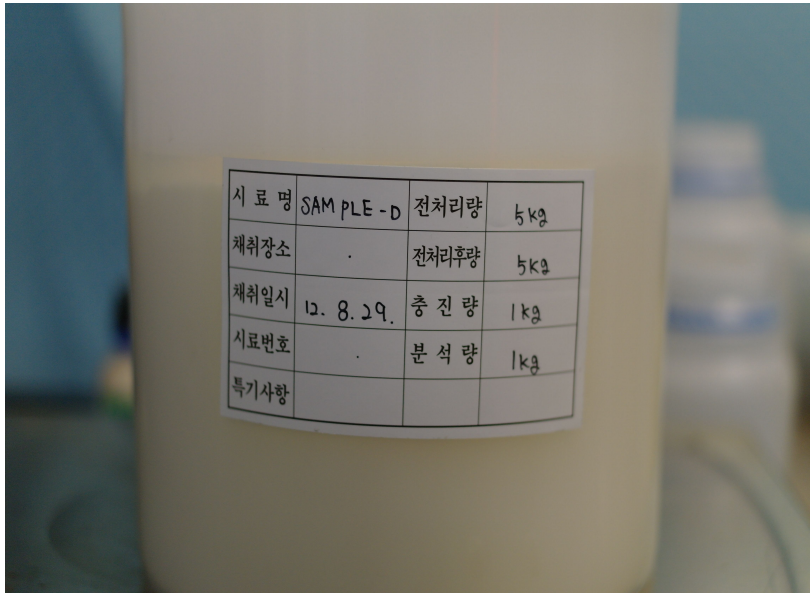


그림 2.3.7 SAMPLE-D 건조시료



그림 2.3.8 SAMPLE-D 회화시료

5. SAMPLE-E

본 실험에 사용된 SAMPLE-E는 시중에 유통되고 있는 분유로 생후 6개월까지의 신생아를 대상으로 한 분유이다. 포장된 CAN 당 800g으로 밀봉 포장되어있고, 무작위로 선정한 CAN 5kg을 시료채취봉투에 담아 섞이게 하였다. 시료는 2000ml Marinelli beaker에는 채취 후 건조하여 beaker에 바로 충전하였고 55ml Cylindrical Bottle에는 채취 후 건조하여 회화 후 Bottle에 충전하였다. 분석량은 2000ml Marinelli beaker와 55ml Cylindrical Bottle에 1kg으로 동일하게 적용하였고, 측정시간은 10000sec와 80000sec로 setting하였다.

표 2.3.5 SAMPLE-E의 측정결과

beaker type	counting time	전처리 방식	측정 방사능 농도(Bq/kg)
2000ml Marinelli beaker	10000sec	건조법	I-131 : < 3.74
			CS-134 : < 0.386
			CS-137 : < 0.351
2000ml Marinelli beaker	80000sec	건조법	I-131 : < 1.75
			CS-134 : < 0.123
			CS-137 : < 0.127
55ml Cylindrical Bottle	10000sec	회화법	I-131 : < 1.19
			CS-134 : < 0.146
			CS-137 : < 0.152
55ml Cylindrical Bottle	80000sec	회화법	I-131 : < 1.52
			CS-134 : < 0.0465
			CS-137 : < 0.0490

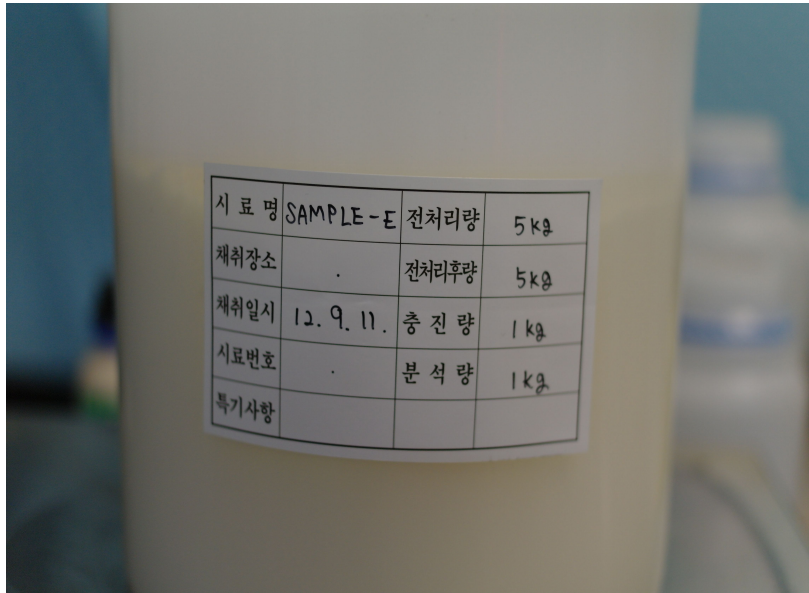


그림 2.3.9 SAMPLE-E 건조시료

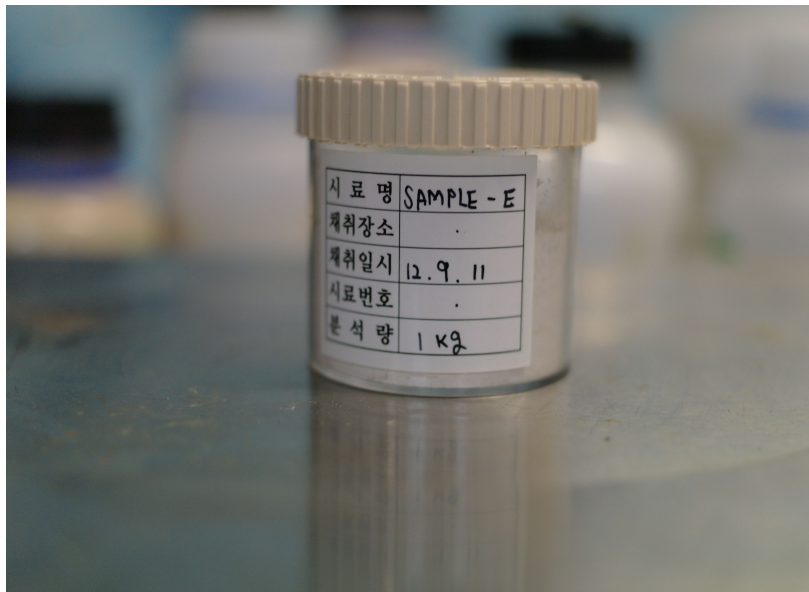


그림 2.3.10 SAMPLE-E 회화시료

제 4 절 섭취량의 대한 선량 평가

1. 신생아 연간 섭취량

영유아의 경우 식품에 대한 섭취량이 일정한 성인에 비해 생후 시간이 경과함에 따라 섭취량의 편차가 있다. 이는 영유아의 경우 태어난 개월수에 따라 체중이 증가하고 소화능력이 발달하므로 섭취량이 지속적으로 증가한다. 아래 표에서 볼 수 있듯 개월수에 따라 지속적으로 체중이 증가하고 소화능력의 발달에 따라 1회 섭취량이 증가함을 볼 수 있다.

표 2.4.1 영유아의 평균 체중¹⁰⁾

개월	평균 체중(kg)
0~생후 15일	3.4
생후 15일~1개월	3.9
1개월~2개월	4.5
2개월~6개월	5~8

표 2.4.2 영유아의 분유 섭취량¹⁰⁾

개월	1회 섭취량	하루 섭취량	해당기간 내 섭취량
0~생후 15일	10.4g	83.2g(8회)	1248g
생후 15일~1개월	15.6g	109.2g(7회)	1638g
1개월~2개월	20.8g	124.8g(6회)	3744g
2개월~6개월	26g	130g(5회)	15600g
6개월~12개월	33.6g	168g(5회)	30240g

2. 섭취량에 따른 연간 피폭선량 평가

일반적으로 피폭선량을 평가하기 위해서는 피폭 받는 자의 위치를 포함한 피폭경로를 결정하여야 한다.

피폭 연령군의 경우 IAEA의 방사선방호에 관한 국제 기본안전기준(IAEA Safety series 115, 1996년)에 제시된 6개의 대표 연령군중 유아의 기준을 적용하였다. 아래의 표에 제시된 연령군은 6개의 대표 연령군중 3개월, 5세, 15세, 성인의 자료에 해당하는 것이다.

표 2.4.3 피폭연령군에 따른 기준²⁾

구분	적용 인구집단	선량 환산계수 적용
유 아	신생아 ~ 1세 미만의 인구집단	3months
소 아	1세 ~ 11세 미만의 인구집단	5years
십 대	11세 ~ 17세 미만의 인구집단	15years
성 인	17세 이상의 인구집단	adult

3. 결 과

본 실험에서 사용된 다섯 종류의 시료 중 I-131과 Cs-134는 검출되지 않았으며 Cs-137만이 미량 검출되었다.

SAMPLE-A의 경우 건조법으로 10000SEC를 계측한 시료를 제외하고 모두 미량의 Cs-137이 검출되었다.

표 2.4.4 SAMPLE-A의 방사능 측정량

beaker type	counting time	전처리 방식	측정 방사능 농도(Bq/kg)
2000ml mirinelli beaker	80000sec	건조법	Cs-137 : 0.696 ± 0.0512
55ml Cylindrical Bottle	10000sec	회화법	Cs-137 : 0.492 ± 0.0542
55ml Cylindrical Bottle	80000sec	회화법	Cs-137 : 0.455 ± 0.0241

SAMPLE-B,C,D의 경우 건조법과 회화법 중 회화법으로 80000SEC를 계측 했을 경우 Cs-137이 검출되었다.

표 2.4.5 SAMPLE-B의 방사능 측정량

beaker type	counting time	전처리 방식	측정 방사능 농도(Bq/kg)
55ml Cylindrical Bottle	80000sec	회화법	CS-137 : 0.0992 ± 0.0201

표 2.4.6 SAMPLE-C의 방사능 측정량

beaker type	counting time	전처리 방식	측정 방사능 농도(Bq/kg)
55ml Cylindrical Bottle	80000sec	회화법	CS-137 : 0.0550 ± 0.00984

표 2.4.7 SAMPLE-D의 방사능 측정량

beaker type	counting time	전처리 방식	측정 방사능 농도(Bq/kg)
55ml Cylindrical Bottle	80000sec	회화법	CS-137 : 0.0347 ± 0.00932

같은 실험 방법으로 실험한 SAMPLE-E의 경우 다른 SAMPLE들과 수치로는 비슷한 수치를 보였지만, 계측된 값 모두 기계의 검출 하한치 미만으로 MDA로 계측 되었다.

표 2.4.8 SAMPLE-E의 방사능 측정 결과

beaker type	counting time	전처리 방식	측정 방사능 농도(Bq/kg)
2000ml Marinelli beaker	10000sec	건조법	I-131 : < 3.74
			CS-134 : < 0.386
			CS-137 : < 0.351
2000ml Marinelli beaker	80000sec	건조법	I-131 : < 1.75
			CS-134 : < 0.123
			CS-137 : < 0.127
55ml Cylindrical Bottle	10000sec	회화 시료	I-131 : < 1.19
			CS-134 : < 0.146
			CS-137 : < 0.152
55ml Cylindrical Bottle	80000sec	회화 시료	I-131 : < 1.52
			CS-134 : < 0.0465
			CS-137 : < 0.049

4. 피폭선량 계산

일반적으로 음식물 섭취에 의해 음식물에 포함된 방사성핵종이 체내로 유입됨으로써, 방사성핵종으로 인한 내부피폭의 원인이 된다. 그러므로 음식물의 섭취로 인한 내부피폭은 같은 방사성 핵종이라도 음식물의 섭취량에 따라 달라지고, 동일한 양의 음식물을 섭취하더라도 방사성 핵종의 종류에 따라 달라진다.¹⁾

섭취경로의 따른 선량 환산계수는 ICRP-72에 제시된 값과 IAEA의 TECDOC-1162를 사용 하였으며 상기 4개의 피폭연령군에 따라 섭취량의 자료에 근거하여 피폭선량을 평가하였다.

$$\begin{aligned} \text{섭취량에 따른예탁유효선량} &= \text{식품의연간섭취량}(kg/yr) \\ &\times \text{식품의 방사능 농도}(Bq/kg) \\ &\times \text{선량환산인자}(mSv/Bq) \end{aligned}$$

위의 식은 섭취량에 따른 예탁유효선량으로 식품의 연간섭취량은 영유아의 연간 평균적 섭취량으로 통일하였고 선량식품의 방사능 농도는 계측된 값, 선량환산인자는 ICRP-72에 제시된 핵종별 환산인자와 IAEA의 TECDOC-1162에 제시된 핵종별 환산인자를 사용하였다.

ICRP-Publication 72와 IAEA의 TECDOC-1162에서 제시한 영유아의 I-131, Cs-134, 137에 대한 섭취선량환산인자는 표 2.4.9와 같다.

표 2.4.9 방사성핵종의 선량환산인자²⁾³⁾

방사성핵종	선량환산인자(mSv/Bq)	
	ICRP-72	TECDOC-1162
I-131	ICRP-72	1.8E-04
	TECDOC-1162	2.2E-02
Cs-134	ICRP-72	2.6E-05
	TECDOC-1162	1.9E-02
Cs-137	ICRP-72	2.1E-05
	TECDOC-1162	1.3E-02

표 2.4.9 의 선량환산인자와 표의 식품섭취량 및 본 연구에서 조사한 분유의 인공방사성핵종의 방사능농도로부터 내부 피폭선량을 평가하여 아래 표 2.4.10와 표 2.4.11에 요약하였다.

표 2.4.10 섭취에 의한 방사성핵종으로부터 받는 내부피폭선량(ICRP-72)

SAMPLE	Beaker TYPE	분석 방법	핵종	총 피폭선량 (mSv/yr)
SAMPLE-A	2000ML(10000SEC)	건조법	I-131	*3.11E-05
			Cs-134	*4.67E-07
			CS-137	*5.41E-07
			I-131	*3.32E-05
			Cs-134	*1.90E-07
			CS-137	7.67E-07
	2000ML(80000SEC)	회화법	I-131	*1.01E-05
			Cs-134	*1.96E-07
			CS-137	5.42E-07
			I-131	*9.00E-07
			Cs-134	*6.70E-08
			CS-137	5.01E-07
SAMPLE-B	2000ML(10000SEC)	건조법	I-131	*2.03E-05
			Cs-134	*3.22E-07
			CS-137	*3.02E-07
			I-131	*4.58E-05
			Cs-134	*2.50E-07
			CS-137	*2.32E-07
	2000ML(80000SEC)	회화법	I-131	*1.32E-05
			Cs-134	*2.35E-07
			CS-137	*2.12E-07
			I-131	*1.30E-06
			Cs-134	*9.13E-08
			CS-137	1.09E-07

SAMPLE	Beaker TYPE	분석 방법	핵종	총 피폭선량 (mSv/yr)
SAMPLE-C	2000ML (10000SEC)	건조법	I-131	*3.57E-05
			Cs-134	*5.10E-07
			CS-137	*2.08E-06
			I-131	*3.57E-05
			Cs-134	*1.81E-07
			CS-137	*1.92E-07
	2000ML (80000SEC)	회화법	I-131	*1.93E-06
			Cs-134	*1.90E-07
			CS-137	*1.59E-07
			I-131	*7.23E-07
			Cs-134	*1.06E-07
			CS-137	6.06E-08
SAMPLE-D	2000ML (10000SEC)	건조법	I-131	*2.90E-05
			Cs-134	*4.37E-07
			CS-137	*3.64E-07
			I-131	*2.71E-05
			Cs-134	*1.69E-07
			CS-137	*1.40E-07
	2000ML (80000SEC)	회화법	I-131	*1.12E-05
			Cs-134	*1.99E-07
			CS-137	*1.67E-07
			I-131	*8.93E-07
			Cs-134	*6.17E-08
			CS-137	3.82E-08

SAMPLE	Beaker TYPE	분석 방법	핵종	총 피폭선량 (mSv/yr)
SAMPLE-E	2000ML (10000SEC)	건조법	I-131	*3.53E-05
			Cs-134	*5.27E-07
			CS-137	*3.87E-07
	I-131		*1.65E-05	
	Cs-134		*1.68E-07	
	CS-137		*1.40E-07	
	2000ML (80000SEC)	회화법	I-131	*1.12E-05
			Cs-134	*1.99E-07
			CS-137	*1.67E-07
	I-131		*1.44E-05	
	Cs-134		*6.34E-08	
	CS-137		*5.40E-08	
55ML (10000SEC)	회화법	I-131	*1.12E-05	
		Cs-134	*1.99E-07	
		CS-137	*1.67E-07	
I-131		*1.44E-05		
Cs-134		*6.34E-08		
CS-137		*5.40E-08		
55ML (80000SEC)	회화법	I-131	*1.12E-05	
		Cs-134	*1.99E-07	
		CS-137	*1.67E-07	
I-131		*1.44E-05		
Cs-134		*6.34E-08		
CS-137		*5.40E-08		

표 2.4.11 섭취에 의한 방사성핵종으로부터 받는 내부피폭선량(TECDOC-1162)

SAMPLE	Beaker TYPE	분석 방법	핵종	총 피폭선량 (mSv/yr)
SAMPLE-A	2000ML(10000SEC)	건조법	I-131	*3.80E-03
			Cs-134	*3.41E-04
			CS-137	*3.35E-04
			I-131	*4.05E-03
			Cs-134	*1.39E-04
			CS-137	4.75E-04
	2000ML(80000SEC)	회화법	I-131	*1.24E-03
			Cs-134	*1.44E-04
			CS-137	3.36E-04
			I-131	*1.10E-04
			Cs-134	*4.89E-05
			CS-137	3.10E-04
SAMPLE-B	2000ML(10000SEC)	건조법	I-131	*2.48E-03
			Cs-134	*2.35E-04
			CS-137	*1.87E-04
			I-131	*5.60E-03
			Cs-134	*1.82E-04
			CS-137	*1.44E-04
	2000ML(80000SEC)	회화법	I-131	*1.62E-03
			Cs-134	*1.71E-04
			CS-137	*1.31E-04
			I-131	*1.59E-04
			Cs-134	*6.67E-05
			CS-137	6.77E-05

SAMPLE	Beaker TYPE	분석 방법	핵종	총 피폭선량 (mSv/yr)
SAMPLE-C	2000ML(10000SEC)	건조법	I-131	*4.36E-03
			Cs-134	*3.73E-04
			CS-137	*1.29E-03
	2000ML(80000SEC)		I-131	*4.36E-03
			Cs-134	*1.33E-04
			CS-137	*1.19E-04
	55ML(10000SEC)	회화법	I-131	*2.35E-04
			Cs-134	*1.39E-04
CS-137			*9.82E-05	
55ML(80000SEC)	I-131		*8.84E-05	
	Cs-134		*7.76E-05	
	CS-137		3.75E-05	
SAMPLE-D	2000ML(10000SEC)	건조법	I-131	*3.54E-03
			Cs-134	*3.19E-04
			CS-137	*2.25E-04
	2000ML(80000SEC)		I-131	*3.31E-03
			Cs-134	*1.24E-04
			CS-137	*8.66E-05
	55ML(10000SEC)	회화법	I-131	*1.37E-03
			Cs-134	*1.46E-04
CS-137			*1.04E-04	
55ML(80000SEC)	I-131		*1.09E-04	
	Cs-134		*4.51E-05	
	CS-137		2.37E-05	

SAMPLE	Beaker TYPE	분석 방법	핵종	총 피폭선량 (mSv/yr)
SAMPLE-E	2000ML (10000SEC)	건조법	I-131	*4.32E-03
			Cs-134	*3.85E-04
			CS-137	*2.39E-04
	I-131		*2.02E-03	
	Cs-134		*1.23E-04	
	CS-137		*8.66E-05	
	2000ML (80000SEC)	회화법	I-131	*1.37E-03
			Cs-134	*1.46E-04
			CS-137	*1.04E-04
	I-131		*1.75E-03	
	Cs-134		*4.64E-05	
	CS-137		*3.34E-05	

제 3 장 결 론

본 연구를 진행한 결과 4개의 회화 시료에서 미량의 Cs-137이 검출되었으며 내부피폭선량은 $1.09E-07 \sim 4.75E-04$ mSv/yr로 측정되었다. 다른 인공방사성핵종인 I-131과 Cs-134는 인공 방사성핵종이지만 Cs-137에 비해 반감기가 매우 짧아 검출이 되지 않았다. I-131과 Cs-134의 경우 기계의 검출하한치 밑으로 검출이 되어 MDA로 표시하였으며 내부피폭선량 계산에서도 측정된 MDA 값으로 계산을 한 결과 일반인의 선량 제한치인 1mSv/ys의 1/10000 정도의 값으로 계산이 되었다.

본 연구에서는 실험 방법을 건조법과 회화법으로 나누어서 실험하였으며, 각각 10000sec와 80000sec로 계측을 해본 결과 계측시간에 따른 분석값이 조금씩 틀린 결과가 나타났으나 연간피폭선량으로 계산해본 결과 규제치의 1/10000 정도로 일반 자연방사성핵종의 피폭량에도 미치지 못함을 알 수 있다. 각각 건조법과 회화법에서도 약간의 검출치의 차이를 보였으나 무시할 수 있는 정도였고, 계측시간에 의한 차이에서도 연간규제치에 비해 무시할 수 있는 선량이 평가 되었다.

영유아의 식품의 섭취에 의한 선량 평가를 이번 연구에서 진행하였다. 연구의 결과로는 식품의 감시 핵종인 I-131과 Cs-134는 5개의 모든 분유 SAMPLE에서 검출이 되지 않았다. 2011년에 발생한 후쿠시마 원전사고가 1년 이상 경과한 시점에서 반감기가 8일인 I-131이 검출이 되었다면 그것은 후쿠시마가 원인이 아닌 다른 원인을 찾아야 할 것이다. I-131은 갑상선암을 유발하는 주원인이기 때문에 중요한 감시핵종이면서, 원자력에 관련된 사고가 발생했을 경우 단기간 중요한 감시핵종이다.

Cs-134와 Cs-137의 경우에는 반감기가 비교적 긴 Cs-137이 5개의 SAMPLE중 4개의 SAMPLE에서 미량 검출 되었다. 하지만 검출된 수치도 국내 식품 방사선 기준인 370Bq/kg에 미치지 못하는 아주 미량이었다.

반감기가 짧은 핵종인 I-131과 Cs-134이 검출이 되지 않고 Cs-137만 검출이 되었다는 것은 1950년대 말과 1960년대 초에 수행된 수많은 핵폭발 실험과 1986년의 구소련에서 체르노빌 원자력발전소 사고 등으로 인해 방출된 핵종들이 지표면에 남아있음을 알 수 있었다.

참고문헌

- [1] 수입식품중의 방사능 오염실태 조사(KAERI/CR-225/2005 한국원자력연구원 2006)
- [2] ICRP Publication 72, “Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of radionuclides: Part5 Compilation of Ingestion and Inhalation Dose Coefficients” 1996
- [3] IAEA-TECDOC-1162 (IAEA 2000 August)
- [4] 주민피폭선량 평가지침(한국원자력안전기술원 1999)
- [5] 방사능 측정 시 Minimum Detectable Activity(한국원자력연구원 2010)
- [6] 식품 중 방사능 분석 SOP(식품의약품안전청 2006)
- [7] 감마핵종 분석 기술(한국원자력연구원 지영용 2012)
- [8] 식품의 사고 시 방사능에 대한 국제 권고 비교(한국원자력연구원 정근호 2012)
- [9] 식품 중 자연방사성핵종의 방사능 농도와 내부피폭선량 평가(경북대학교 최민석 2009)
- [10] 일동후디스 www.ildongfoodis.co.kr