

식품 방사능 모니터링 체계화 연구

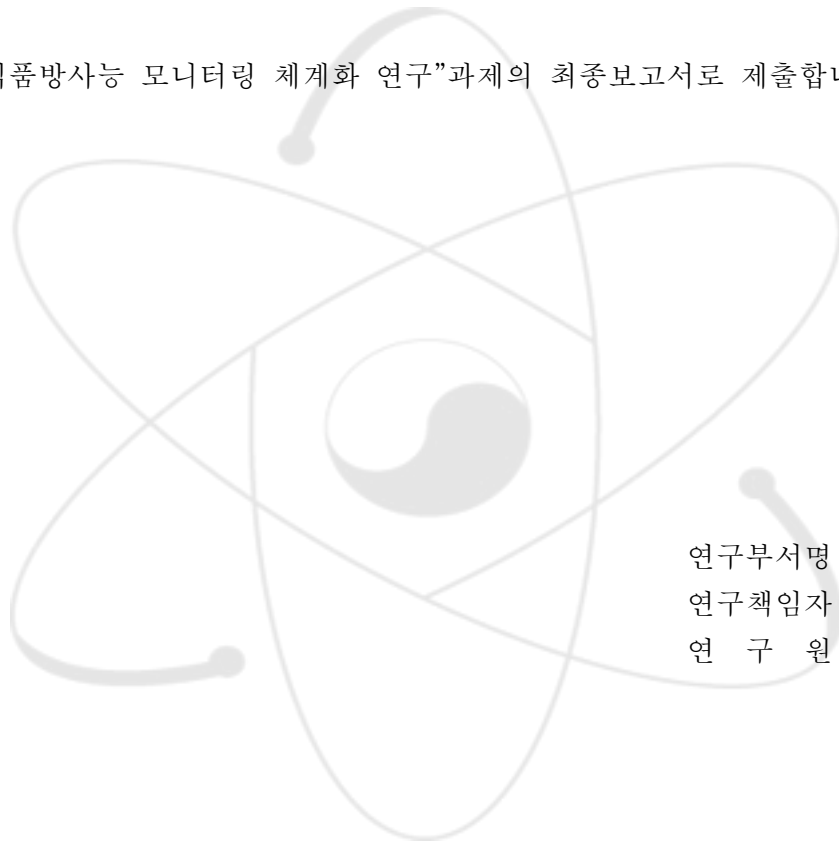
Development of monitoring system  
on radioactivity in foodstuffs

*KAERI*

# 제 출 문

한국원자력연구소장 귀하

이 보고서를 “식품방사능 모니터링 체계화 연구”과제의 최종보고서로 제출합니다.



2005. 2. 28

연구부서명 : 원자력환경연구부  
연구책임자 : 정 근 호  
연구 원 : 이 창 우  
          최 근 식  
          조 영 현  
          이 완 로  
          박 두 원  
          이 행 필

# 요약문

## I. 제 목

식품 방사능 모니터링 체계화 연구

## II. 연구개발의 목적 및 필요성

식품중의 방사능 오염실태 조사 및 방사능 분석기술과 관련하여 유럽연합 국가들에서는 식품 종류별로 분석법을 개발하여 수입식품에 대한 규제를 일상화하고 있고, 이 분야에 대한 기초자료의 축적과 새로운 규정의 보완을 지속적으로 진행하고 있다. 우리나라 식품의약품안전청(KFDA)에서 제정한 식품공전의 “방사능 잠정허용기준 시험법”과 국제규격을(EPA, EML, IAEA, ASTM) 비교 검토한 결과 “시료 전처리”와 “방사능 측정결과 처리” 등에서 몇 가지 문제점을 발견할 수 있었다. 식품 중 감마핵종 분석법에 대해서는 체계적인 절차서가 규격화되어 있으나, 식품 종류별 분석과정에 대해서는 시료군의 분류, 시료전처리, 품질관리, 모니터링 방법 등이 체계화되어 있지 않았다. 따라서 본 연구에서는 식품 시료군의 분류와 시료군 별 전처리방법의 구체화, 시료군(특성)과 감시성격을 고려한 방사능조사절차의 확립 및 측정시간에 따른 식품의 방사능조사절차를 확립하고자 하였다.

## III. 연구개발의 내용 및 범위

본 연구의 최종목표인 “식품 방사능 모니터링 기술개발 및 실용화”를 위하여 식품의 항목을 3개의 시료군으로 분류하여 전처리 방법을 구체화하여 식품의 방사능 분석을 실용화하였으며, 측정표준편차를 고려하여 측정시간에 따른 식품의 방사능조사절차를 확립하였다.

## IV. 연구개발 결과

식품 방사능 규제관련 미국, 영국, 뉴질랜드, 일본 등의 현황을 조사하였으며, 환경 방사능 분석법 관련 국제규격(KOLAS, ISO, ASTM)과 식품공전의 “방사능 잠정허용기준 시험법”을 비교 검토한 결과 “시료 전처리”와 “방사능 측정결과 처리” 등에서 나타난 몇 가지 문제점을 개선하였다. 식품 방사능 분석 품질관리를 위하여, 온실에서 인위적으로 방사능 (Cs-137) 첨가 재배된 쌀을 이용하여 품질관리를 위한 시료를 제조하였다. 식품종류별로 겉보기 밀도가 0.3~1.4 g/cm<sup>3</sup>를 나타냈으며, 이처럼 큰 밀도 차이에 의한 식품시료의 감마선 자체흡수보정을 간편하고 빠르게 할 수 있는 실용적인 방법을 개발하였다. 식품의 항목을 크게 3개의 시료군(액상시료, 분말 및 분말화 가능시료, 젤 또는

젤화되는 시료)으로 분류하여 식품의 방사능 분석시 시료의 전처리 절차를 체계화하였다. 그리고 이들 시료군(특성)과 감시성격(핵사고 등 긴급시, 통관 전 장기간 보관이 어려운 수입식품)을 고려하여 효율적으로 적용할 수 있는 방사능조사절차를 확립하였다. 또한 식품의 방사능 분석시 인력과 장비, 시간의 제약을 효과적으로 극복할 수 있도록 측정표준편차를 고려하여 측정시간에 따른 식품의 방사능조사절차를 확립하였다.

## V. 연구개발 결과의 활용계획

본 연구에서 개발된 식품 종류별 체계적인 전처리 방법은 식품공전의 “방사능 잠정허용 기준 시험법” 중 시료 전처리 방법 개정시 활용할 수 있다. 시료군(특성)과 감시성격을 고려한 방사능조사절차와 측정시간에 따른 식품의 방사능조사절차는 제한된 식품방사능 분석 인력과 장비를 갖춘 기관(예, 식품의약품안전청 지청, 수산물품질검사원, 광역시/도 보건환경연구원 등)에서 효과적으로 활용될 수 있다.



# SUMMARY

## I. Title of Project

Development of monitoring system on radioactivity in foodstuffs.

## II. Objectives

The objectives of this study are development of monitoring system on radioactivity in foodstuffs by advancing the sample preparation methods for measuring the gamma emitting radionuclides in foodstuffs and by development of the monitoring procedures.

## III. Scope and Contents

The scopes of this study are the classification of foodstuffs according to its characteristics (powder, liquid and gel properties), the improvement of the sample preparation methods of foodstuffs according to the sample categories and to develop the monitoring procedure for measuring the radioactive contamination of foodstuffs based on the measurement time and uncertainty calculation.

## IV. Results

The various standard operational procedures (KOLAS, ISO, ASTM) for the determination of gamma emitting radionuclides in foodstuffs were deeply examined and compared to the KFDA standard procedure. Differences are observed in the sample preparation methods, the radioactivity measurement and data report. For the quality control (QC) of the radioactivity analysis of foodstuffs, the QC sample was prepared with Cs-137 spiked rice. The simple and practical method was developed for the self-absorption correction of gamma-ray according to the matrices with the various apparent density of foodstuffs. The foodstuffs were categorized with three classes according to its characteristics (powder, liquid and gel properties) and the sample preparation methods were improved according to its categories. The monitoring procedure to identify the contaminated foodstuffs was developed based on the uncertainty and measurement time.

## V. Plan for the Use of Results

The improved sample preparation methods would be used to amend the KFDA standard procedure. The developed monitoring procedure based on the uncertainty and measurement time would be effectively used for small institutes to identify the radioactivity contaminated foodstuffs.



# 목 차

제 1 장 서론 .....	1
제 1 절 연구개발의 목적 및 필요성 .....	1
제 2 절 연구개발의 내용 및 범위 .....	2
제 2 장 국내·외 기술개발 현황 .....	3
제 1 절 국외 기술개발 현황 .....	3
제 2 절 국내 기술개발 현황 .....	3
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과 .....	4
제 1 절 방사능규제 관련 외국사례 조사 .....	4
제 2 절 식품 방사능 측정방법 조사 및 식품시료 적용기술 개발 .....	4
제 3 절 식품 방사능분석 품질관리방안 구축 .....	5
제 4 절 식품 항목별 방사능 모니터링 방법 체계화 및 절차 개발 .....	7
제 4 장 연구개발 목표 달성도 및 대외 기여도 .....	28
제 1 절 연구개발 목표 달성도 .....	28
제 2 절 연구결과의 대외 기여도 .....	29
제 5 장 연구개발 결과의 활용성과 및 계획 .....	30
제 6 장 참고문헌 .....	31

# 제 1 장 서론

## 제 1 절 연구개발의 목적 및 필요성

핵폭발 실험 및 체르노빌 원자력 발전소 사고로 인해 많은 양의 방사성물질이 대기 중으로 방출되었고, 매우 극소량이나 정기적인 원자력 가동 및 핵연료 재처리 과정에서 인공방사성 물질이 대기 중으로 방출될 가능성이 있다 [1]. 대기 중으로 방출된 방사성 핵종으로 오염된 토양에서 자란 농작물은 뿌리를 통해 방사성 핵종을 작물체내로 흡수하여 방사능 오염식품이 되며, 섭취경로를 따라 인체에 흡수되어 내부피폭을 일으키게 된다 [2,3]. 토양에 침적된 방사성핵종은 지하 이동 및 방사능 붕괴에 의해서 토양에서 완전히 사라질 때까지 지속적으로 작물체에 흡수되어 작물을 오염시킬 수 있다.

유럽을 포함하여 선진국의 식품규제기관에서는 구소련(현 우크라이나와 벨로루시의 국경 지역)의 체르노빌 원자력발전소 사고 후, 수출·입 농수산물 및 가공식품에 대한 방사능 오염규제를 강화하고 있으며, 방사능 오염실태 보고서를 매년 작성하여 체계적으로 관리하고 있다 [4,5]. 대한민국의 경우 국민의 식생활과 관련된 식품 중 방사능 오염 규제는 식품공전에 방사능 잠정허용기준을 제정하여 관리하고 있다 [6]. Cs-137+134의 경우는 모든 식품에 대해서 370 Bq/kg( $\ell$ )으로 규제치를 정했는데 이는 일본, 뉴질랜드를 비롯한 대부분의 선진국에서도 사용하는 값이다.

현재 우리나라는 수입농수산물중 대부분을 유럽 및 핵실험 국가인 미국, 중국 등으로부터 들여오고 있는 실정이고, 우리와 비슷한 일본의 경우 매년 추세보고서를 작성하고 있다. 체르노빌 사고 후 일본으로 수입된 식품 중 방사능 잠정한도(370 Bq/kg)를 초과하여 수입 규제를 받은 식품에 대한 목록을 표 1에 나타내었다 [7,8]. 21세기 새로운 세계 무역 질서를 만들 WTO 뉴라운드의 공식 출범과 중국의 WTO 가입 후 다자무역 체제 하에서 수출·입 식품에 대한 방사능 규제 강화가 국가적으로 필요한 시점이다. 또한, 양자간 자유무역협정(FTA)이 늘어나면서 외국과의 식품교역량이 점점 증가하고 복잡화되는 추세이다.

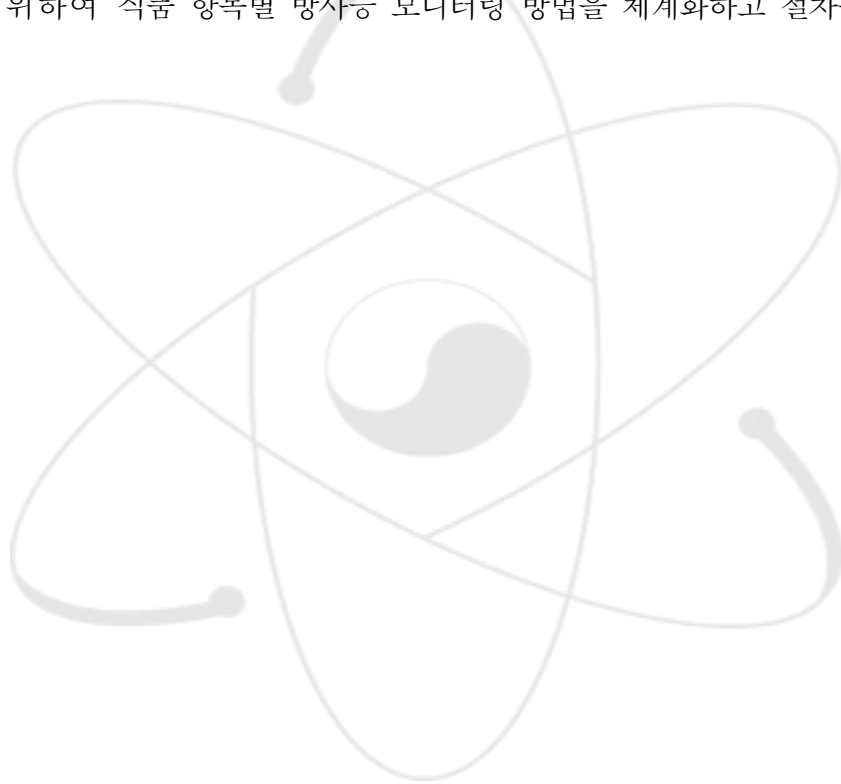
식품중의 방사능 오염실태 조사 및 방사능 분석기술과 관련하여 유럽연합 국가들에서는 식품 종류별로 분석법을 개발하여 수입식품에 대한 규제를 일상화하고 있고, 이 분야에 대한 기초자료의 축적과 새로운 규정의 보완을 지속적으로 진행하고 있다. 우리나라 식품의약품안전청(KFDA)에서 제정한 식품공전의 “방사능 잠정허용기준 시험법”과 국제규격을(EPA, EML, IAEA, ASTM) 비교 검토한 결과 “시료 전처리”와 “방사능 측정결과 처리” 등에서 몇 가지 문제점을 발견할 수 있었다. 식품 중 감마핵종 분석법에 대해서는 체계적인 절차서가 규격화되어 있으나, 식품 종류별 분석과정에 대



해서는 시료군의 분류, 시료전처리, 품질관리, 모니터링 방법 등이 체계화되어 있지 않았다. 따라서 본 연구에서는 식품 시료군의 분류와 시료군 별 전처리방법의 구체화, 시료군(특성)과 감시성격을 고려한 방사능조사절차를 확립, 측정시간에 따른 식품의 방사능조사절차를 확립하고자 하였다.

## 제 2 절 연구개발의 내용 및 범위

본 연구의 내용은 식품방사능 모니터링 기술개발과 식품방사능 모니터링 실용화이다. 식품방사능 모니터링 기술개발을 위하여 방사능규제관련 외국사례 조사, 식품 방사능 측정 방법 조사 및 식품시료 적용기술 개발, 식품 방사능 분석 품질관리 방안을 구축한다. 또한, 식품방사능 모니터링 실용화를 위하여 식품 항목별 방사능 모니터링 방법을 체계화하고 절차를 확립한다.



## 제 2 장 국내·외 기술개발 현황

### 제 1 절 국외 기술개발 현황

식품중의 방사능 오염실태 조사 및 방사능 분석기술과 관련하여, 유럽연합 국가에서는 식품 종류별로 분석법을 개발하여 수입식품에 대한 규제를 일상화하고 있다. 영국의 경우는 환경식량농업부(DEFRA, 구 MAFF)에서 인정을 받은 기관에서 수출입 식품에 대한 방사능 농도인증서를 작성해주고 있다. 뉴질랜드의 경우 보건부(MOH) 산하의 사업부인 국가방사선 연구실(NRL)에서 수출입 식품 및 자국내 생산된 식품에 대한 방사능 농도인증서를 작성해주고 있다. 일본의 경우 후생노동성에서 수출입식품에 대한 방사능규제를 하고 있다 [7,8]. EPA, EML, IAEA 기술매뉴얼에 농산물 분석관련 절차서가 일부 정리되어 있다 [9,10].

### 제 2 절 국내 기술개발 현황

우리나라의 경우 한국원자력연구소(KAERI) 및 한국원자력안전기술원(KINS)에서 원전시설 주변 방사능 모니터링 차원에서 곡물, 채소류, 해산물 등에 대한 방사능 분석법을 개발하여 적용하고 있다 [11,12]. 식품 중 방사능 오염 규제는 식품의약품안전청에서 식품공전에 방사능 잠정허용기준을 제정하여 관리하고 있다 [6]. 수출입과 관련하여 현재 국내 몇몇 업체에서 원자력연구소에 조주정, 전분, 분유, 사료 등의 방사능 농도 분석을 정기적으로 의뢰하고 있는 실정이다. 감마핵종 분석법에 대해서는 체계적인 절차서가 규격화 되어있으나 [9,10], 식품 종류별 분석 전처리 과정에 대해서는 시료처리방법, 품질관리 방법 및 모니터링 방법 등이 체계화 되어있지 않다. 이와 같은 기술은 식품에 대한 방사능 농도인증서 작성시 분석 신뢰도와 직결된 항목이다.

## 제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

### 제 1 절 방사능규제 관련 외국사례 조사

- 식품중의 방사능 오염실태 조사 및 방사능 분석기술과 관련하여, 유럽연합 국가에서는 식품 종류별로 분석법을 개발하여, 수입식품에 대한 규제를 일상화하고 있음.
- 영국의 경우는 환경식량농업부(DEFRA)에서 인정을 받은 기관에서 수출입식품에 대한 방사능 농도인증서를 작성해주고 있음.
- 뉴질랜드의 경우 보건부(MOH) 산하의 사업부인 국가방사선연구실(NRL)에서 수출입 식품 및 자국내 생산식품에 대한 방사능 농도인증서를 작성해주고 있음.
- 일본의 경우 후생노동성에서 수출입식품에 대한 방사능규제를 하고 있으며, 체르노빌 사고 후 일본으로 수입된 식품 중 방사능잠정한도(370 Bq/kg)를 초과하여 수입 규제를 받은 사례가 총 42회 있었음 (표 1).

### 제 2 절 식품 방사능 측정방법 조사 및 식품시료 적용기술 개발

- EPA, EML, IAEA, ASTM 기술매뉴얼에 농산물 분석관련 절차서가 일부 정리되어 있음.
- 미국의 경우는 식품의약국(FDA)에서 WEAC(Winchester Engineering and Analytical Center)의 분석방법을 공인하고 있음.
- 뉴질랜드의 경우는 보건부(MOH)에서 ISO/IEC 국제규격을 분석방법으로 공인하고 있음.
- 영국의 경우는 환경식량농업부(DEFRA)에서 Scientifics 사의 분석방법을 공인하고 있음.
- 일본의 경우는 문부과학성 과학기술청의 “방사능 측정법 시리즈”를 분석방법으로 권장하고 있음.
- 우리나라의 경우는 수입식품의 방사능 규제에 대해서는 식품의약품안전청에서 제정한 식품공전의 “방사능 잠정허용기준 시험법”을 분석방법으로 인정하고 있음.
- 우리나라의 경우 KINS 및 KAERI에서 원전시설 주변 방사능 모니터링 차원에서 곡물, 채소류, 해산물 등에 대한 방사능 분석법을 개발하여 적용하고 있음.
- 식품의약품안전청에서 제정한 식품공전의 “방사능 잠정허용기준 시험법”을 비교 검토한 결과 몇가지 문제점을 발견할 수 있었으며 (표 2), 전처리법 개선에 대해

서는 식품공전의 시험법 개정시 반영하고자 함.

### 제 3 절 식품 방사능분석 품질관리방안 구축

#### 가. 품질관리용 시료의 제조

국내에서는 식품의약품안전청에서 고시 제89-19호를 통해 ‘식품 중의 방사능 잠정 허용기준치’를 Cs-134 +137을 기준으로 했을 때 모든 식품에 대해 370 Bq/kg( $\ell$ )로 규정하고 있다. 따라서 본 연구에서는 온실에서 Cs-137을 인위적으로 첨가하여 재배한 쌀시료(약 8000 Bq/kg)를 일반 쌀시료와 일정비율로 섞어서 건조 및 분쇄한 다음 균질하게 잘 혼합하였다. Marinelli 비이커에 다짐봉으로 잘 충전한 다음 뚜껑을 닫고 실리콘폴로 밀봉 후 감마핵종 분석기에서 검정하여 약 340 Bq/kg의 방사능을 함유하는 품질관리용 시료를 제조하였다. 이 시료는 식품 방사능 분석시 품질관리용으로 사용된다.

#### 나. 밀도 차이에 의한 감마선 자체흡수보정

감마분광분석기(gamma spectrometer)를 이용한 환경방사능 분석시 밀도의 따른 자체흡수보정은 검출기의 효율을 정확히 구하는 데 중요한 문제이다. 정확한 효율을 구하기 위하여 교정용 표준시료와 측정하고자 하는 샘플 시료가 물리적 및 화학적으로 동일해야 하는데 현실적으로 이는 불가능하다. 특히 겉보기 밀도가  $0.3\text{g/cm}^3 \sim 1.5\text{g/cm}^3$  까지의 다양한 범위를 갖는 환경샘플에서는 다양한 밀도의 표준시료를 만든다는 것은 대단히 어렵다. 따라서 오래 전부터 많은 연구자들은 몬테칼로 시뮬레이션이나 한정된 수의 밀도가 다른 표준시료를 이용하여 자체흡수보정 값을 구한 후 이를 외삽해서 밀도차이에 대한 효율을 구하였다 [13-15]. 그러나 위에서 언급한 방법은 너무나 전문적이고 조금이라도 샘플구조가 다른 경우에는 사용하기가 힘들어 현실적으로 이를 적용하기는 상당히 어려웠다. 본 연구에서는 위에서 언급한 현실적인 문제를 고려하여 간단하고 실용적이며 빠르게 효율보정을 할 수 있는 방법을 제시하였다. 그림 1에서는 고순도 게르마늄 감마분광분석기와 Marinelli 비커를 이용하여 환경시료의 방사능 분석을 할 때 밀도변화에 따른 자체흡수 보정 방법의 차이를 보여주고 있다. 기존의 방법을 보면 Marinelli 비커에 먼저 표준시료를 넣고 측정한 후 다음에 물리화학적 구조가 같고 동일 밀도를 갖는 샘플을 넣어 측정하여 앞에서 구한 효율 값을 이용하여 방사능을 구했다. 많은 환경샘플을 정해진 시간에 연속해서 측정하는 실험실의 경우 다양한 밀도를 갖는 환경시료와 동일한 특성 및 구조를 갖는 표준시료를 만들어 자체흡수보정을 하기가 대단히 힘들다. 따라서 한 가지 대안은 밀도 즉,  $1\text{g/cm}^3$  인 수용액 혹은 고체상태의 표준시료를 이용하여 보정한 값을 다양한 특성 및 밀도를 갖는 환경샘플에 적용하고 있는데 이 경우 저에너지에서 밀도에 의한 차이를 보이고 있다.

제시된 방법은 이런 문제를 해결하기 위한 것이며 그림 1과 같이 Marinelli 비커 외부에 표준선원이 포함된 구조를 갖는다. 제시된 방법을 설명하면 첫 번째, Marinelli 비커에 증류수 (밀도=1g/cm<sup>3</sup>)를 이용하여 혼합 에너지를 갖는 방사선원이 포함된 표준시료를 만들어 측정한다. 여기서 측정한 효율 값은 에너지의 함수이고 아래와 같이 표현하였다.

$\epsilon_i(\rho=1, E)$ , 여기서  $i$ 는 표준방사선원을 Marinelli 비커 내부에 넣었다는 의미이다.

두 번째, Marinelli 비커에 방사선원이 없는 증류수만으로 앞에서 만든 표준시료와 동일한 구조 및 밀도를 갖는 샘플을 제작한다. 세 번째, 증류수를 이용하여 Marinelli 비커 외부를 감싸는 방사선원이 포함된 표준시료를 제작한다. 네 번째는 앞에서 구한 샘플과 표준시료를 계측기에 놓고 측정한다. 계측된 값의 효율은 다음과 같이 표현된다.

$\epsilon_e(\rho=1, E)$ , 여기서  $e$ 는 표준방사선원을 Marinelli 비커 외부 용기에 넣었다는 의미이다.

다.  $F(\rho=1, E) = \frac{\epsilon_i(\rho=1, E)}{\epsilon_e(\rho=1, E)}$ , 여기서  $F(\rho=1, E)$ 는 밀도 1g/cm<sup>3</sup>에서 혼합표준선원을 내부에 넣었을 때와 외부에 두었을 때의 비를 나타내고 있다.

마지막으로 밀도가 다양한 샘플을 그림 1(b)와 같이 각각 내부에 넣고 외부에는 위에서 만든 표준시료를 넣고 측정한다. 측정된 효율 값( $\epsilon_e(\rho=x, E)$ )과 구한  $F(\rho=1, E)$ 값을 이용하여 최종적으로 밀도에 따른 자체흡수 보정(self-absorption correction)을 다음과 같이 한다.

$\epsilon_{sa}(\rho=x, E) = F(\rho=1, E) \times \epsilon_e(\rho=x, E)$ , 여기서  $\epsilon_{sa}(\rho=x, E)$ 는 자체흡수 효과를 보정한 효율값을 에너지와 밀도의 함수로 표현하고 있다.

표 3에서는 제시된 방법을 이용하여 보정된 효율값과 직접 밀도별로 표준시료를 제작하여 측정한 값을 비교하고 있다. 표 3에서 보면 전 에너지 범위의 겉보기 밀도 0.8, 1.0, 1.3 g/cm<sup>3</sup>에서 보정값과 제작하여 구한 값이 거의 일치함을 알 수 있었다. 따라서 본 연구에서 제시한 방법으로 밀도에 대한 자체흡수 보정이 가능함을 알 수 있었다. 실제 환경샘플의 방사능 분석에 많이 이용되는 Marinelli 비커 형태에서 밀도별 자체흡수보정을 빠르고 간단하면서 실용적으로 할 수 있는 방법을 제시하였다. 현재는 3가지 종류의 밀도에 대해서만 실험하였기 때문에 앞으로는 전 밀도영역 (0.3~1.5 g/cm<sup>3</sup>)에 대해서 실험적으로 검증해야 할 뿐만 아니라, 몬테칼로방법 등을 이용한 이론적인 검증이 필요하다.

## 제 4 절 식품 항목별 방사능 모니터링 방법 체계화 및 절차 개발

식품중 감마핵종 분석법에 대해서는 체계적인 절차서가 규격화되어 있으나, 식품 종류별 분석과정에 대해서는 시료군의 분류, 시료전처리, 품질관리, 모니터링 방법 등이 체계화되어 있지 않다. 따라서 본 연구에서는 시료군의 분류와 전처리방법을 좀 더 체계적이고 구체화하였다.

### 1. 대상시료의 선정과 확보

기존에는 식품중 방사능 분석시 시료의 전처리방법에 있어서 식품시료군이 종류(품종)에 따라 분류된 측면이 있었다 (표 2). 이렇게 전처리방법을 분류해 놓으면 다음의 예를 볼 때 분석자가 각 시료를 어떤 시료군에 적용시켜야 좋을지 판단하기 어려우며, 각 시료별 전처리와 측정자료 산출의 일관성에 있어서도 문제가 발생할 소지가 있다. 예를 들면, 어패류 중에서도 저지방인 고등류, 조개류, 새우, 오징어, 미더덕 등에 비해 고지방인 고등어는 건조시료를 분쇄하면 점성이 강한 젤(gel)상태로 되며, 또 분쇄시료는 회화시킬 때 끓어넘치는 경향이 있다. 또한 채소류 중에서 오이, 무, 배추줄기는 조직이 연해서 건조시 약 60℃ 이상의 온도에서는 삶아지면서 유기물이 분해되어 수분이 발생하고 따라서 시료의 손실이 발생하며, 감자는 그렇지 않다. 그리고 쇠고기통조림의 경우 가공식품에 해당되지만, 자연산물이나 식육류에 해당되는 fresh 쇠고기와 시료특성이 거의 같다고 볼 수 있다. 따라서 식품시료는 종류가 아니라 그 특성에 따라 시료군을 분류하는 것이 전처리시 훨씬 포괄적이고 효율적일 것으로 생각된다. 본 연구에서는 일반인들이 자주 먹는 식품 중에서 각 특성을 대표하는 것을 대상시료로 선정하려고 노력하였다.

연구 대상시료는 1차년도에 총 31개 시료를 시중에서 직접 구입하였다 (표 4). 고등어와 오징어는 뼈를 제거하고 가로×세로×높이 1.5cm×1.5cm×1.5cm 정도로 잘게 썬 상태로 (이하 '잘게 썰다'), 나머지 어패류(소라,미더덕,홍합,새우)는 식용부위만을, 돼지고기는 제일 많이 식용되는 썬 삼겹살을, 닭고기는 살부위만을, 해조류와 버섯류는 마른 것을, 소금은 천일염을 구입하였으며, 그 외의 식품들은 시중에 일반적으로 주로 유통되는 상태로 구입하였다. 2차년도에는 1차년도에 구입한 종류 중 생체시료만을 16개 구입하였다 (표 4).

### 2. 시료 전처리

감마핵종 분석과정에서 시료의 전처리라 함은 방사능 측정을 수행하기 전에 시료를 측정에 적합한 상태로 만들기 위하여 비식용부(껍질, 잔뿌리, 토사, 고엽, 가지, 뼈, 비계 등) 제거, 절단 및 건조, 파쇄 및 분쇄, 회화하는 과정 및 감마측정용기에 충전하기

까지의 과정을 말하며 (그림 2), 이 과정에서 수분율, 회분율, 밀도 등을 산출할 수 있다. 물론 채취 당시의 시료상태에 따라서 전처리과정을 일부 생략할 수도 있다. 또한 핵사고시나 통관 전 장기간 보관이 어려운 수입식품 등 단기간 내에 측정을 요하는 경우 건조 및 회화단계까지 거쳐서 측정한다면 방사능 분석자료를 산출하는 데 장시간이 소요되는 단점이 발생할 수 있으므로 처한 상황에 따라 시의적절한 방법을 선택하여 분석의 신속성을 증대시켜야 할 것이다. 본 연구에서는 식품공전의 “방사능 잠정허용기준 시험법”에 나와있는 시료 전처리법 중 직접법, 건조법, 회화법을 모두 시도하여 보았으며, 그 결과 3개의 큰 시료군으로 분류할 수 있었다. 즉 시료군을 액상시료, 분말 또는 분말화 가능시료, 젤 또는 젤화되는 시료로 분류하였으며, 생체시료를 건조과정 없이 그대로 분쇄한 경우는 기본적으로 젤(gel)의 범주에 포함시켰다 (표 4).

1차년도에 구입한 시료는 기본적으로 비식용부 제거 → 절단 → 건조 → 파쇄 → 분쇄 (mill) → 측정용기에 충전의 전처리과정을 거쳤고, 2차년도에는 비식용부를 제거한 생체시료를 mixer로 분쇄하여 바로 측정용기에 충전하였다. 새로 분류한 각 시료군별 상세한 전처리과정은 다음과 같다.

#### 가. 액상시료

액상시료는 거의 대부분이 고수분의 특성을 지닌다. 본 연구에서 액상시료는 우유를 대상 시료로 하였으며, 액체상태 그대로를 450 ml Marinelli 비이커에 충전하여 시료무게를 잰 다음 감마핵종 측정시료(이하 ‘측정시료’)로 하였다. 우유를 포함한 액상시료들은 일반실험실에서 건조하기는 쉬우나 건조용기와 강한 접촉으로 인해 분말상태로 분쇄하기가 어렵기 때문에 사정에 따라 액상이나 ash 상태로 하여 측정시료로 사용하는 것이 좋다. 일반적으로 잘 깨지지않는 금속재질의 용기에서 가열하여 끓여 줄이면서 수분을 증발시키는 방법을 사용하고 있다. 이 방법은 건조시간은 1일 이내로 짧지만 건조온도를 일정하게 유지하기 어려울 뿐 아니라 용기의 바닥이나 벽에 우유가 늘어붙으면서 타서 일부 손실되기 때문에 수분율과 회분율을 정확하게 측정하는 방법으로 적절하지 않다고 생각된다. 따라서 본 연구에서는 우유를 증발접시에 넣고 100℃의 열풍건조기에서 건조하였으며(그림 3-a), 건조시간은 증발접시에 담긴 우유량에 따라 다르지만 대략 5 l 기준일 경우 3시간 간격으로 막대로 저어주면 3~4일이 걸렸다.

건조시료는 탄화 후 회화단계를 거치는 순으로 불꽃에 의한 시료의 손실이 없도록 최대한 회화하였다 (그림 4). 즉 회화 1단계는 유지온도 200℃에서 300분, 2단계는 300℃에서 300분, 3단계는 400℃에서 300분, 4단계는 450℃에서 1500분 동안 실시하였으며, 유지온도까지의 상승속도는 약 3℃/분이 되도록 설정하였다. 또한 Cs-137, I-131 등 일부 방사성 핵종은 회화온도에 따라 휘발됨으로써 회수율이 크게 달라지기 때문에 회화온도는 450℃를 넘지 않도록 하였다 [15]. 감마핵종 분석과정에서 유기물시료를 회

화시키는 주된 목적은 목적성분(감마핵종)의 농축에 있으므로 완전히 회화시킬 필요성은 크지 않으며, 또한 대부분의 유기물 시료는 일반적으로 450℃에서 충분히 회화되는 편이다.

본 연구에서 전처리한 시료 외에 액상시료의 범주에 넣을 수 있는 것에는 추출물(엑기스), 케첩, 시럽, 술, 소스, 주스, 청량음료, 빙과 등이 있을 것이다.

#### 나. 분말 또는 분말화 가능 시료

분말시료는 거의 대부분이 건조상태이므로 저수분의 특성을 가진다. 분유, 밀가루, 커피, 후추의 경우처럼 구입당시부터 분말상태인 시료는 분쇄과정을 거칠 필요가 없으며, 열풍건조기에서 건조하면 분말이 바람에 날려 손실되거나 다른 시료와 섞일 우려가 있기 때문에 100℃의 일반건조기에서 3~5시간 건조하였다. 이 건조분말시료를 450 ml Marinelli 비이커에 다짐봉으로 잘 충전하여 시료무게를 쟀 다음 측정시료로 하였다.

분말화 가능 시료란, 생체 또는 준건조상태인 것을 절단 및 건조 후 mill로 분쇄하여 분말상태로 쉽게 만들 수 있는 시료를 말하며, 대부분의 식품시료가 이 범주에 든다고 할 수 있을 것이다. 분말시료를 제외한 수분율 15% 이하인 저수분시료의 경우 쌀, 콩, 코리앤더씨, 소금은 구입상태 그대로, 월계수잎과 고사리 및 해조류(김,미역, 다시마)는 가위로 잘게 잘라서, 표고버섯과 목이버섯은 그림 3-b에서처럼 비닐주머니 속에 넣고 망치로 잘게 파쇄하여 스테인리스 쇠팅반에 담은 다음 100℃ 열풍건조기에서 약 1일간 건조하였다. 수분율 65% 이상인 고수분시료의 경우 사과(씨방), 감자(토사,껍질), 무(토사,잔뿌리), 배추(토사,뿌리,고엽)는 비식용부를 제거하고 잘게 썰어서(그림 3-c), 닭고기와 소라 및 오징어는 잘게 썰어서, 홍합과 새우 및 미더덕은 구입상태 그대로 그림 3-d에서처럼 특수용기(쇠쟁반+흡착포+스테인리스철판+대형여과지+플라스틱망)에 담아 100℃ 열풍건조기에서 건조하였다. 특히 닭고기와 오징어는 건조시 기름과 체액이 많이 빠져나오기 때문에 흡착포를 충분히 넣었으며, 쇠팅반과 스테인리스철판 사이에는 충분한 공간을 두었다. 그리고 쇠팅반이나 스테인리스철판 및 여과지에 생체시료가 직접 접촉하면 건조되면서 들러붙어 잘 떨어지지 않는 단점이 있지만 플라스틱망에서는 건조될수록 오히려 잘 떨어졌다. 건조시간은 과일류와 채소류는 3~5일, 닭고기와 어패류는 4~5일을 유지하였다. 건조시 닭고기, 소라, 오징어, 홍합, 새우는 삶아지면서 서로 엉겨붙는 경향이 있으므로 건조 초기단계에서 약 3시간 간격으로 엉겨붙은 고기조각을 서로 분리시켜주었으며, 이 과정은 고기조각이 서로 엉겨붙지 않을 때까지 반복하였다. 특이한 것은 무와 배추(줄기부분)의 경우 조직이 연해서 60℃ 이상의 고온에서 건조하면 삶아지면서 유기물이 분해되어 수분이 발생하고 따라서 시료의 손실이 발생하기에, 먼저 60℃ 미만의 낮은 온도에서 1~2일 건조



한 다음 100℃에서 2~3일 건조하였다. 건조시료를 mill로 분쇄하여 450 ml Marinelli 비이커에 다짐봉으로 잘 충전하여 시료무게를 잰 다음 측정시료로 하였다.

건조분말시료의 회화는 액상시료의 전처리과정에서와 같은 방법으로 하였다. 단, 커피의 경우는 시료량을 회화용기(증발접시)의 1/4용량 이하로 담아서 회화해야 끓어오르거나 부풀어올라도 넘치지 않았다. 그리고 커피는 회화시 부풀어오른 아래부분, 즉 증발접시와 접촉하는 부분이 잘 회화되지 않는 경향이 있어서 막자(pestle)를 이용해 증발접시에서 그대로 갈아서 다시 한번 회화하였더니 비교적 잘 되었다. 한편, 소라와 오징어는 커피처럼 부풀어오르지는 않았지만 회화용기(증발접시)에 분말을 가득 담아 회화하면 튀어올라 일부 넘치는 경우가 발생하므로 회화용기의 1/2용량 이하로 담아서 회화하였다. 쌀은 1회 회화 후에도 ash가 진흙색을 띠어서 막자(pestle)를 이용해 증발접시에서 그대로 갈아서 다시 한번 회화하였더니 진회색을 띠는 수준까지 회화되었다. 또한 소금은 고온에서 강하게 튀는 성질이 있어서 일반 도가니(silica crucible)에서 회화하면 가벼운 뚜껑이 충격으로 열리는 경우가 발생하기에, 무거운 뚜껑의 알루미늄(산화알루미늄) 도가니에 넣고 회화하였다.

다. 젤(gel) 또는 젤화되는 시료

대체적으로 고지방 또는 고당분의 특성을 지니는 시료들, 즉 아몬드, 오렌지, 돼지고기, 계란, 고등어 등이 건조 후 분쇄시 젤(gel)화 되었다. 의외로 우유는 열풍건조기에서 건조할 경우 젤화되지 않았다. 아몬드는 2~3조각으로 으깨어서, 오렌지(껍질,씨)는 비식용부를 제거하고 잘게 썰어서 (그림 3-c), 돼지고기와 고등어는 구입상태 그대로, 계란은 삶은 후 껍질을 제거하고 3~4조각으로 썰어서(그림 3-e) 아몬드를 제외한 생체시료(오렌지, 돼지고기, 계란, 고등어)는 분말화 가능 시료의 건조과정에서 사용한 것과 같은 특수용기와 열풍건조기에서 건조하였다. 돼지고기와 고등어는 분말화 가능 시료의 닭고기와 오징어처럼 건조 초기 단계에서 서로 엉겨붙은 시료를 분리시켜주는 절차를 시료조각이 서로 엉겨붙지 않을 때까지 반복하였다. 건조시간은 아몬드는 3~5시간, 오렌지는 3~5일, 돼지고기와 고등어는 4~5일, 계란은 2~3일 유지하였다. 건조시료를 mixer로 분쇄하면 오렌지와 계란은 서로 엉겨붙는 경향이 있었고, 아몬드와 돼지고기 및 고등어는 **점성이 강한 젤(gel)상태로 되었다** (그림 3-f). 이 건조분쇄시료를 450 ml Marinelli 비이커에 다짐봉으로 잘 충전하여 시료무게를 잰 다음 측정시료로 하였다. 건조분쇄시료의 회화는 기본적으로 액상시료의 전처리과정에서와 같은 방법으로 하였다. 특히 고지방의 특성을 지닌 돼지고기, 계란, 고등어는 시료량을 회화용기(증발접시)의 1/4용량 이하로 담아서 회화해야 끓어오르거나 부풀어올라도 넘치지 않았다.

이 연구에서 전처리한 시료 외에 젤(gel) 또는 젤화되는 시료의 범주에 넣을 수 있는 것에는 생체시료 분쇄물(2차년도 조사시료), 땅콩, 오일, 잼, 벌꿀, 버터 등이 있다.

### 3. 분석결과

#### 가. 수분율, 회분율 및 밀도의 측정

수분율은 fresh 시료 중 수분의 함량으로서 절단 및 파쇄시료 건조 전후의 무게차이로부터 계산하였다. 회분율은 fresh 시료 중 재(ash)의 함량으로서 건조/분쇄시료 회화 전후의 무게차이와 앞서 구한 수분율로부터 환산하였다. 단, 구입당시 시료상태가 (준) 건조상태인 경우도 여기에서 fresh로 간주하였으며, 시료는 건조 및 회화 후 데시케이터에서 약 30분간 방냉한 후 무게를 달았다. 건조분쇄한 시료의 밀도( $\text{g}/\text{cm}^3$ )는 Marinelli 비이커의 부피 450 ml에 대한 시료의 무게(g)로써 계산하였다. 표 4에서 수분율과 회분율 및 밀도를 살펴보면, 수분율과 회분율은 대체적으로 역(-)의 상관관계를 나타내었다.

fresh 시료의 수분율은 전체적으로 2.84~97.26% 범위였으며, 소금이 제일 낮고 배추가 제일 높았다. 분말시료, 쌀, 콩, 커피, 향신료, 버섯류, 해조류(건조), 소금, 아몬드에서 15% 이하로 낮고, 우유, 과일류, 채소류, 식육류, 어패류, 계란에서 65% 이상으로 높았다 (그림 5). 한편, 다시마는 생체시료의 경우 수분율이 83.27%였다 (표 4).

fresh 시료의 회분율은 96.99%로 매우 높은 소금을 제외하면 0.32~30.69%의 범위를 나타냈으며, 사과가 제일 낮고 소금이 제일 높은 값을 보였다. 약 0.4%의 값을 보인 쌀과 밀가루를 제외하고는 구입 당시 (준)건조상태였던 시료에서 2.91~30.69%의 범위로 높고, 구입당시 액상이나 생체상태였던 시료에서 0.32~2.29%의 범위로 낮았다. 특히 해조류 중 미역이 30.69% 다시마가 24.03%로 매우 높았다 (그림 6). 한편, 다시마는 생체시료의 경우 회분율이 4.02%였다 (표 4).

Marinelli 비이커에 충전한 건조분쇄시료의 밀도는 전체적으로 0.32~1.40  $\text{g}/\text{cm}^3$ 의 범위를 보였으며, 커피가 가장 낮고 소금이 가장 높았다. 그 외에 분유, 월계수잎, 코리앤더, 표고버섯, 김, 아몬드가 0.39~0.61  $\text{g}/\text{cm}^3$ 의 범위로 낮고, 쌀, 감자, 소라, 다시마, 돼지고기, 계란, 고등어가 0.96~1.06  $\text{g}/\text{cm}^3$ 의 범위로 높은 경향을 보였다 (그림 7-a). 한편 2차년도에 실험한 생체시료의 밀도는 0.86~1.06 (평균  $0.99 \pm 0.05$ )  $\text{g}/\text{cm}^3$ 의 범위로 큰 변화를 보이지 않았다 (그림 7-b).

#### 나. 감마핵종의 측정 및 분석

시료의 전처리부터 측정까지의 단계를 그림 2에서 이미 살펴보았으며, 측정시료의 준비와 감마핵종의 측정 및 분석은 문헌에 보고된 방법을 사용하였다 [9,10]. 측정시료는 교정용 감마핵종 혼합용액 표준선원의 geometry와 일치하도록 측정용기에 최대한 다져 넣고 시료표면이 수평을 유지하도록 담아서 감마동위원소(주로 Cs-137)의 방사능 측정을 수행하였다. 시료의 측정시간은 측정불확도(측정표준편차)를 고려하여 결정하였다. 감마핵종분석기(AMTEK ORTEC)는 HPGe 검출기(GEM20180-P), 고전압공급기,

증폭기, 다중과고분석기, 컴퓨터 및 주변기기로 구성되었다. 수직형의 HPGe 검출기는 NaI 검출기에 대한 상대효율이 20%이며 에너지 분해능(FWHM)은 Co-60 핵종에서 방출되는 1.33 MeV의 감마선 에너지에 대하여 1.80 keV이다. Amersham에서 공급하는 Cd-109 (88.04 keV), Co-57 (122.07 keV), Ce-139 (165.85 keV), Hg-203 (279.17 keV), Sn-113 (391.71 keV), Sr-85 (513.99 keV), Cs-137 (661.62 keV), Y-88 (898.02, 1836.01 keV), Co-60 (1173.23, 1332.51 keV) 등의 교정용 혼합용액 표준선원이 채워지고 실리콘폴로 밀봉된 450 ml Marinelli 비이커를 이용하여 감마핵종분석기의 에너지 및 효율을 결정하였다. 측정된 스펙트럼은 AMTEK ORTEC 사의 소프트웨어 GammaVision을 이용하여 분석하였다.

방사능 측정결과를 표 4에 나타내었다. 측정시간을 20분으로 했을 때 에너지 662 KeV의 피크영역에서 Cs-137의 검출효율은 1.2%, 바탕시료의 계수율은 0.186 Bq, 건조분쇄법으로 전처리한 식품시료의 최소검출방사능(MDA: Minimum Detectable Activity)은 0.09~4.83 Bq/kg-fresh 범위로 모두 MDA 이하의 값을 나타내었으며 (그림 8-a), 24시간 측정한 경우에는 커피, 향신료(후추, 월계수잎), 버섯류, 새우, 다시마, 돼지고기, 고등어에서 0.08~3.54 Bq/kg-fresh의 범위로 Cs-137이 검출되었다 (그림 9). 한편, 2차년도에 생체시료를 구입하여 직접법으로 전처리한 시료에 대해서 20분간 방사능을 측정한 경우에는 모두 MDA (1.50~1.85 Bq/kg-fresh) 이하였다 (그림 8-b).

다. 시료군(특성)과 감시성격을 고려한 방사능조사절차

위에서 서술한 바와 같이 식품의 항목을 크게 3개의 시료군(액상시료, 분말 및 분말화 가능시료, 젤 또는 젤화되는 시료)으로 분류하여 식품의 방사능 분석시 시료의 전처리 절차를 체계화하였다. 그리고 이들 시료군(특성)과 감시성격(핵사고 등 긴급시, 통관 전 장기간 보관이 어려운 수입식품)을 고려하여 효율적으로 적용할 수 있는 방사능조사절차를 확립하였다. 즉 핵사고 등 긴급시에는 유통되는 상태 그대로의 시료(액상, 분말, 준건조상태, 생체)를 비식용부만 제거하고 mill 또는 mixer로 분쇄하여 측정용기에 충전한 후 측정하고, 장기간 보관이 어려운 수입식품의 경우 감시·분석기관에서는 시험성적서 발행기한 규정 한도 내에서도 최대한 짧은 시간에 조사절차를 완료할 수 있도록 직접법 → 건조법 → 회화법 중에서 일부과정을 생략해서 분석해야 할 것이다.

지속적인 모니터링연구와 식품 방사능오염 관련 규격의 제·개정에 필요한 필수 기초자료를 축적할 필요가 있을 때는, 처음에 검체채취시 감시용 시료를 충분히 확보해서 긴급시나 단기간 분석시에는 시료를 일부만 사용하고 나머지 시료량은 회화단계까지 전처리(목적성분을 농축)한 후 측정하여 낮은 수준까지 방사능을 검출한다.

#### 라. 측정시간에 따른 식품의 방사능조사절차

식품시료에 대한 방사능 오염실태를 파악하고 규제할 때 다수의 시료에 대해서 한정된 장비와 인력으로 조사하기에는 시간적 제약을 받게된다. 이 경우를 효과적으로 극복할 수 있도록 측정표준편차를 고려하여 측정시간에 따른 조사절차를 확립하였다. 즉 전처리를 완료한 시료에 대해 (1) 측정시료를 감마핵종분석기로 2분 정도 측정한 후 방사능 오염유무를 판단한다. (2) 370 Bq/kg보다 높은 방사능으로 오염된 시료는 1000 counts (약 20분) 정도 측정하여 3% 이내의 측정표준편차로 방사능을 검출한다. (3) 방사능 잠정 허용기준치인 370 Bq/kg에 근접한 시료에 대해서는 10000 counts (약 2시간) 정도 측정하여 1% 이내의 측정표준편차로 방사능을 검출하여 오염여부를 판단한다. 물론 측정시간은 계측기의 검출효율에 따라 차이가 있을 수 있다.

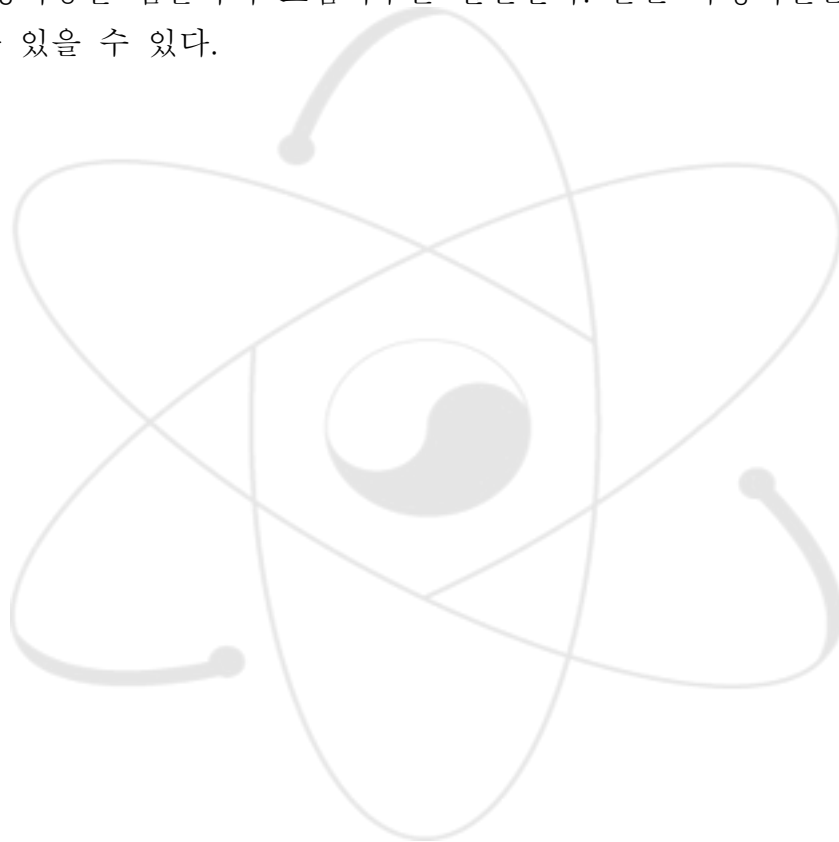


표 1. 체르노빌 사고 후 일본에 수입된 식품 중 방사능 잠정한도를 초과한 사례 [7,8]

횟수	발표일	식품	생산국	수입량	Cs-137+134 (Bq/kg)	수입항
1	87. 1. 9	hazelnut (개암)	터키	30 t	520/980	항구
2	2. 6	bay leaves (월계수잎)	터키	52 t	490/720	항구
		sage잎 (salvia잎) 소 위	터키 핀란드	14.5 t 1.26 t	1천/2천 440	항구 항구
3	2.13	reindeer (순록)	스웨덴	200 kg	389	공항
4	3.27	thyme (사향초)	프랑스	4 kg	1,715	항구
		sage잎 (salvia잎)	터키	4 t	1,198	항구
5	5. 8	bay leaves (월계수잎)	터키	28 t	496/551	항구
		sage잎 (salvia잎)	그리스	3.77 t	1,758	항구
		heath꽃	프랑스	8.5 kg	1,425	공항
6	5.28	almond	이탈리아	37.5 kg	408	항구
		herb차	스페인	32.4 kg	8,780	항구
7	6.12	herb차	유고슬라비아	18 kg	673/955	항구
		sage잎 (salvia잎)	유고슬라비아	99.8 kg	497	공항
		sage잎 (salvia잎)	알바니아	9.21 t	1,895	항구
		black currant puree (까막까치밥 푸레)	프랑스	1.5 t	425	항구
8	7.24	hazelnut(개암) 調整品	이탈리아	110 kg	390	공항
		hazelnut(개암) paste	터키	5 kg	379	공항
9	8.20	dry herb	프랑스	6 kg	1,072	공항
10	9.11	bay leaves (월계수잎)	터키	3.02 t	1,042	항구
11	10.21	beef · extract(엑기스)	브라질, 아일랜드	2.6 t	622	항구
			프랑스			
12	10.28	ice-cream paste	이탈리아	576 kg	417	항구
		dry herb	유고슬라비아	19.5 kg	536	공항
13	12.22	hazelnut(개암) paste	터키	72 kg	411	항구
		sage잎 (salvia잎)	알바니아	4 t	417	항구
14	88. 1.20	버섯	프랑스	17 kg	636	공항
15	2.15	dry herb	유고슬라비아	98 kg	385	항구
		herb차	루마니아	2.52 t	467	항구
		버섯	프랑스	9 kg	755	항구
16	6. 2	dry herb	유고슬라비아	10 kg	423	항구
		dry herb	프랑스	5 kg	776	항구
17	6.14	sage잎 (salvia잎)	프랑스	4 kg	411	공항
18	7. 4	beef · extract(엑기스)	아일랜드	216 kg	379	항구
19	9. 5	sage잎 (salvia잎)	그리스	28 kg	397	항구
20	9.25	버섯	프랑스	34 kg	707	공항
		버섯	프랑스	5 kg	446	공항
21	10. 5	herb	프랑스	60 kg	432	항구
		버섯	프랑스	3 kg	562	공항
		버섯	프랑스	3 kg	458	공항
22	12. 2	herb차	스위스	51 kg	579	공항
23	12.28	bay leaves (월계수잎)	스페인	10 kg	1,325	항구

표 1. (계속)

발표 횟수	발표일	식 품	생산국	수입량	Cs-137+134 (Bq/kg)	수입항
24	89. 1.11	버섯	프랑스	10 kg	650	공항
25	1.23	(건조)고사리	소비에트	180 kg	655	항구
26	4.10	(건조)고사리	소비에트	158 kg	379	항구
27	10.23	버섯	프랑스	3 kg	532	공항
28	90. 2.28	herb차	스위스	2 kg	1,167	공항
29	10. 3	herb차	알바니아	9 kg	814	공항
30	91. 2.14	(건조)버섯	유고슬라비아	25 kg	556	공항
31	3.13	mix-spice (복합향신료)	프랑스	8 kg	1,028	항구
32	94.11. 8	훈제 순록(reindeer) 고기	핀란드	42 kg	388	공항
33	98. 1.21	(건조)버섯	이탈리아	21 kg	731	공항
34	01.11. 8	(건조)버섯	이탈리아	36.1 kg	418	공항
35	02.11. 8	버섯	프랑스		590	
36	03. 7.	Chaga버섯	러시아		408	공항
37	9.	버섯분말	이탈리아		594	공항
38	11.	Chaga버섯	우크라이나		833	공항
39	04. 4.	Chaga버섯분말	벨로루시		599	공항
	4.	(건조)버섯	프랑스		525	공항
40	5.	(냉동)버섯	이탈리아		1,140	항구
41	6.	Chaga버섯분말	러시아		460	항구
42	8.	Chaga버섯분말	러시아		387	항구

표 2. 식품의약품안전청의 식품공전 ‘방사능 잠정허용기준 시험법’에 대한 개선의견 [6]

항목	식품공전의 내용	개선의견	예 및 참조사항
대상시료군 분류	가공원료, 가공식품, 자연산물, 곡류 등, 채소류 등, 식육류 등, 우유류	시료를 특성에 따라, 즉 액상, 분말 또는 분말화 가능, 젤(gel) 또는 젤화되는 등으로 분류해야 분석자가 각 시료를 어떤 방법으로 효율성 있고 신속하게 전처리해야할지 판단 용이	쇠고기통조림의 경우 가공식품, 자연산물, 식육류 중에서 어느 시료군에 넣어야 하는지 혼란
비식용부의 개념	곡류 등 (껍질 등) 채소류 등 (뿌리, 토사, 고엽 등) 식육류 등 (뼈, 껍질, 비계, 가시 등)	비식용부를 명시하지 말고, 요리에 재료로 들어갈 때의 상태를 중심으로 결정	곰국 : 장시간 뼈를 우려냄 삼겹살: 비계를 같이 식용 돼지 : 요즘 껍질을 식용 꽃게: 살과 껍질 같이 끓임, 키토산의 원료
건조법	수분이 많은 식품은 1~2일간 바람에 건조시키고, 분쇄하기 쉬운 때까지 105℃의 열풍건조기에서 건조	핵사고시나 수출입통관시에는 단기간 내 측정을 요하므로 직접법으로, 즉 건조시킬 필요없이 fresh 시료(수입당시 그대로의 시료상태를 말함)를 그대로 갈아서 신속히 측정	잠정 허용기준치 370 Bq/kg은 MDA를 고려할 때 감마핵종분석기에서 상당히 높은 값이라서 쉽게 감지
회화법	건조상태의 분말시료를 전열기나 가스버너로 너무 높지않은 온도에서 가연성가스가 나오지 않을 때까지 탄화한 다음 회화로에 넣고 500℃를 넘지않도록 회화	일반적으로 시료(또는 방사능)를 농축하여 측정할 필요가 있을 때 회화하므로 회화법은 거의 불필요. 만약 모니터링자료의 축적을 위해 꼭 필요하면 탄화→회화단계가 모두 가능한 일체형 회화로를 사용하고, 최대온도는 450℃ 초과 금지	Cs-137의 경우 450℃에서 약 8%, 550℃에서 약 16%가 휘발에 의해 손실된다고 밝혀져 있으며, 대부분의 천연유기물은 450℃에서 충분히 회화되는 편
감마측정용기의 규격	측정용기에 충전된 시료의 중량을 정밀히 달고 밀봉하여 시료표본으로 한다.	전처리법(직접법, 건조법, 회화법)의 최종단계에 따른 시료의 양과 상태를 고려하여 고효율로 측정할 수 있는 표준용기의 규격과 형태를 명시	Marinelli 비커 (450 ml, 1 l) U8 용기 (100 ml) 실린더형 PE병 (80 ml) 등
측정시간	최소 측정시간은 10000초로 하며, 측정조건에 따라 시간을 증가시킬 수 있다.	측정시간을 10000초 이상으로 고정하지 말고, 시료의 전처리법 등 여러가지 측정조건에 따라 측정시간을 단계별로 세분화	1차적으로 20분 정도만 측정해도 잠정허용기준치와 비교하여 식품의 방사능 오염여부를 판단 가능
최소검출방사능(MDA)	—	측정시료무게, 측정시간, 해당핵종 검출효율, 바탕시료 계수율 등을 고려한 MDA를 산출	
검출기의 에너지 및 효율 교정(calibration)	각 채널에 대응하는 에너지를 표준선원을 이용하여 교정	교정용 혼합용액 표준선원의 제조방법과 검출기의 에너지 및 효율 교정방법을 구체적으로 명시	교정용 표준선원 원액은 매년 국제공인기관에서 새로이 구입해서 사용

표 3. 밀도별 표준시료를 제작하여 구한 효율 값( $\epsilon_i(E)$ )과 제시된 방법으로 측정된 효율 ( $\epsilon_{sa}(E)$ ) 값 비교

Energy (keV)	겉보기 밀도, $\rho=0.8$ (g/cm <sup>3</sup> )			겉보기 밀도, $\rho=1.0$ (g/cm <sup>3</sup> )			겉보기 밀도, $\rho=1.3$ (g/cm <sup>3</sup> )		
	$\epsilon_i(E)$	$\epsilon_{sa}(E)$	error (%)	$\epsilon_i(E)$	$\epsilon_{sa}(E)$	error (%)	$\epsilon_i(E)$	$\epsilon_{sa}(E)$	error (%)
88.04	3.06	3.10	1.21	3.00	3.00	0.00	2.91	2.82	-3.19
122.07	4.37	4.41	0.82	4.20	4.20	0.00	3.94	3.98	0.94
391.71	2.28	2.35	3.02	2.20	2.20	0.00	2.09	2.14	2.36
661.62	1.37	1.38	1.06	1.36	1.36	0.00	1.33	1.31	-1.80
1173.23	0.801	0.81	0.67	0.78	0.78	0.00	0.78	0.75	-4.00
1332.51	0.716	0.72	1.23	0.71	0.71	0.00	0.69	0.68	-1.40

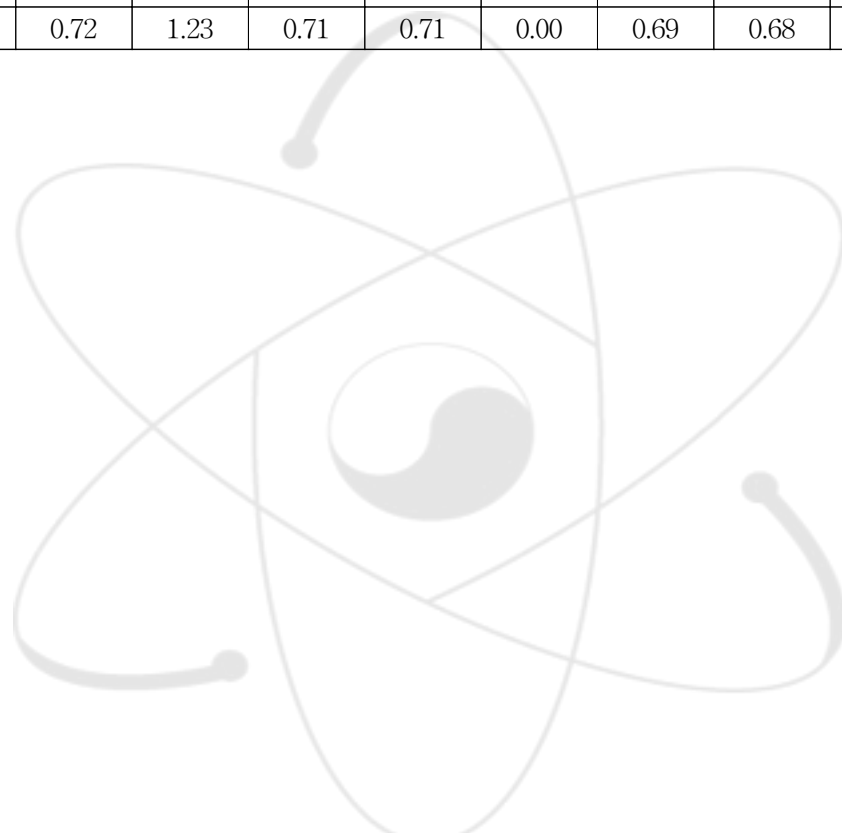




표 4. 식품시료의 수분율, 회분율, 밀도 및 방사능 분석결과

특성 <sup>@</sup> (시료군)	종류	식품명	원산지	수분율 (%)	회분율* (%)	밀도 (g/cm <sup>3</sup> )		Cs-137 (Bq/kg-fresh ± 1σ <sup>#</sup> )			
						건조	생체	20분 측정		24시간 측정	
								건조	생체	건조	
액상	유제품	우유	한국	86.54	0.74	-	1.06	-	< 1.500	-	
분말 또는 분말화 가능	유제품	분유	한국	2.91	3.25	0.57	-	< 2.719	-	< 0.246	
	곡류	밀가루	미국	11.98	0.40	0.78	-	< 1.805	-	< 0.163	
		쌀	한국	13.89	0.41	1.06	-	< 1.299	-	< 0.118	
	두류	콩	한국	11.99	5.46	0.83	-	< 1.688	-	< 0.153	
	차류	커피	한국	5.41	6.36	0.32	-	< 4.834	-	1.015 ± 0.182	
	향신료	후추	프랑스	8.43	4.27	0.78	-	< 1.860	-	0.967 ± 0.110	
		월계수잎	터키	9.31	4.26	0.56	-	< 2.588	-	0.352 ± 0.106	
		코리앤더	불가리아	7.54	6.57	0.61	-	< 2.410	-	< 0.218	
	과일류	사과	한국	87.01	0.32	0.82	0.95	< 0.254	< 1.679	< 0.023	
	채소류	감자	한국	80.67	2.29	1.00	0.94	< 0.309	< 1.694	< 0.028	
		무	한국	95.55	0.71	0.83	0.98	< 0.085	< 1.624	< 0.008	
		배추	한국	96.51	0.55	0.61	0.86	< 0.092	< 1.850	< 0.008	
	버섯류 (건조)	표고버섯	북한	8.45	6.68	0.39	-	< 3.767	-	3.545 ± 0.211	
		목이버섯	중국	12.89	4.44	0.81	-	< 1.725	-	1.545 ± 0.086	
		고사리	중국	14.52	9.05	0.93	-	< 1.479	-	0.160 ± 0.024	
	식육류	닭고기	한국	77.24	0.89	0.78	1.01	< 0.463	< 1.571	< 0.042	
어패류	소라	터키	72.71	2.13	0.96	1.06	< 0.455	< 1.506	< 0.041		
	홍합	한국	83.40	0.92	0.91	1.00	< 0.291	< 1.589	< 0.026		
	새우	중국	89.89	0.94	0.76	0.95	< 0.212	< 1.673	0.036 ± 0.011		
	오징어	(원양)	77.23	0.98	0.81	0.99	< 0.445	< 1.607	< 0.040		
	미더덕	한국	91.88	1.77	0.83	1.00	< 0.156	< 1.598	< 0.014		
해조류 (건조)	김	한국	10.27	2.91	0.39	-	< 3.681	-	< 0.333		
	미역	한국	11.31	30.69	0.86	-	< 1.639	-	< 0.148		
	다시마	한국	8.94 (83.27)	24.03 (4.02)	1.09	0.98	< 1.337	< 1.623	0.249 ± 0.099		
기타	소금	한국	2.84	96.99	1.40	-	< 1.109	-	< 0.100		
젤(gel) 또는 젤화되는	견과류	아몬드	미국	4.62	3.32	0.55	-	< 2.765	-	< 0.250	
	과일류	오렌지	남아공	88.61	0.48	0.91	0.99	< 0.199	< 1.613	< 0.018	
	식육류	돼지고기	한국	70.02	0.85	0.98	0.99	< 0.487	< 1.608	0.080 ± 0.023	
	난류	계란	한국	76.50	0.88	1.05	1.04	< 0.355	< 1.526	< 0.032	
	어패류	고등어	(원양)	62.81	1.15	1.04	1.04	< 0.571	< 1.528	0.095 ± 0.027	

커피의 원산지는 가공생산국으로 표시, 다시마의 ( )는 생체시료의 수분율과 회분율.

@ 건조분쇄할 때 나타나는 특성.

\* fresh 무게에 대한 회분율이며, 구입당시 시료상태가 (준)건조상태인 경우도 여기에서 fresh로 간주.

# 측정불확도, < MDA 이하.

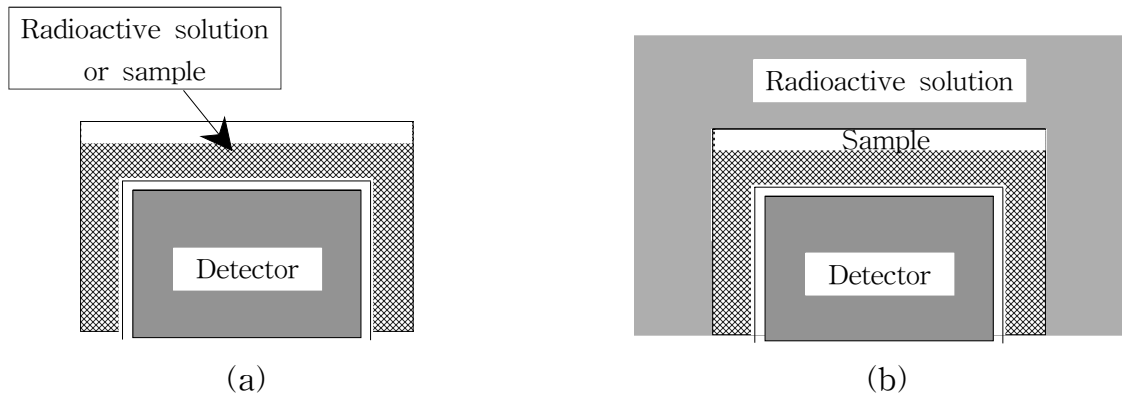
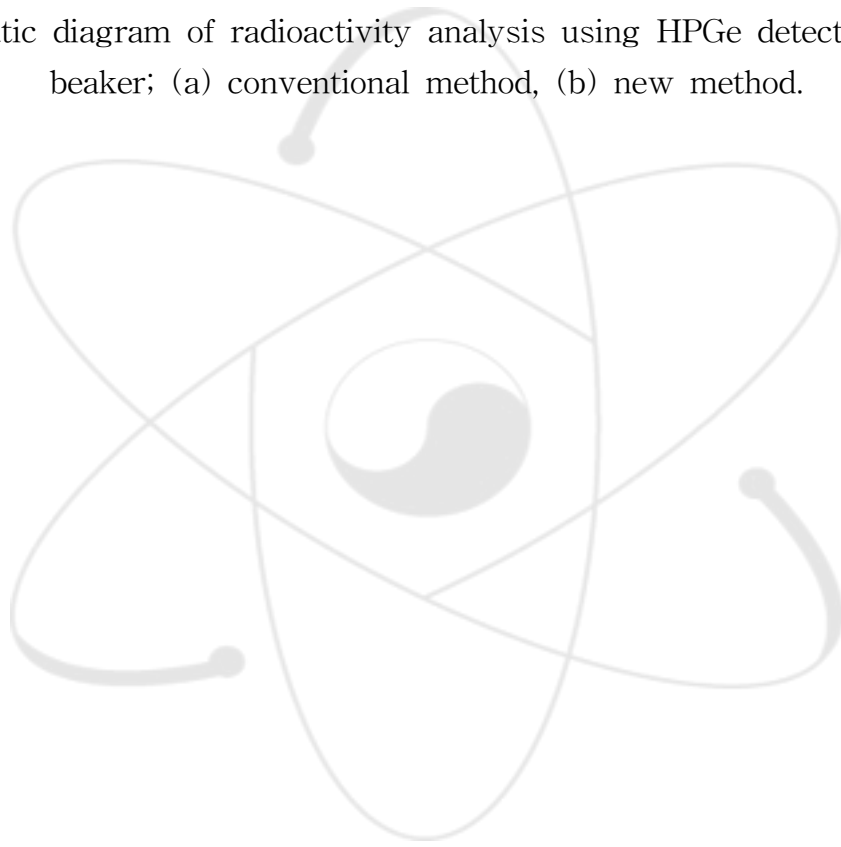


그림 1. Schematic diagram of radioactivity analysis using HPGe detector and Marinelli beaker; (a) conventional method, (b) new method.





< 김채 >



< 절단 >



< 건조 >



< 파쇄 >



< 분쇄 >



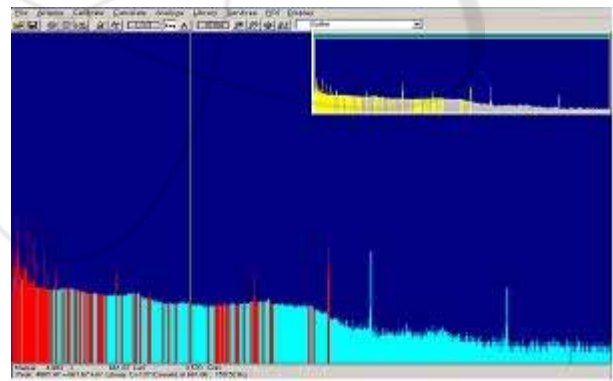
< 측정용기에 충전 >



< 칭량 >



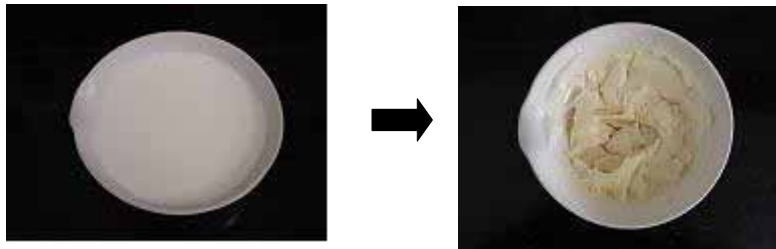
< 측정 >



< 스펙트럼 분석 >

그림 2. 식품시료의 전처리와 감마핵종 분석 및 측정 (배추의 예).

< a >



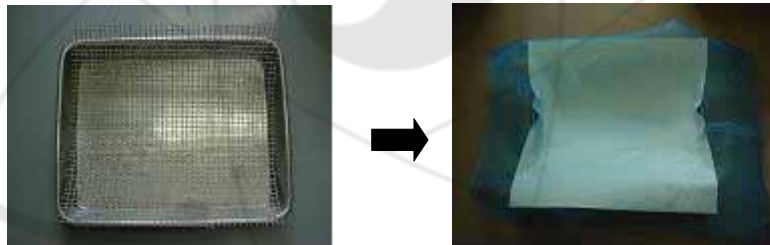
< b >



< c >



< d >



< e >



< f >



그림 3. 식품시료 전처리과정에서의 특이 사항.



< 건조분말 >



< 탄화 >



< 회화 >

그림 4. 식품시료의 회화과정 (밀가루의 예).

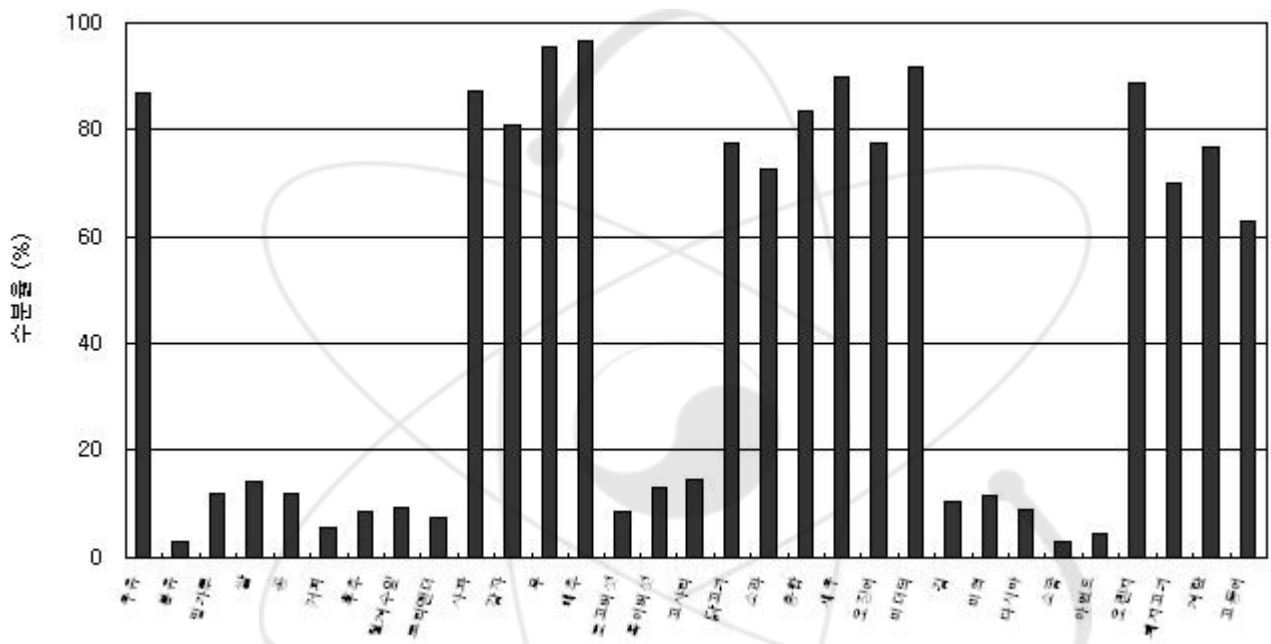


그림 5. 식품시료 종류별 수분율 분포.

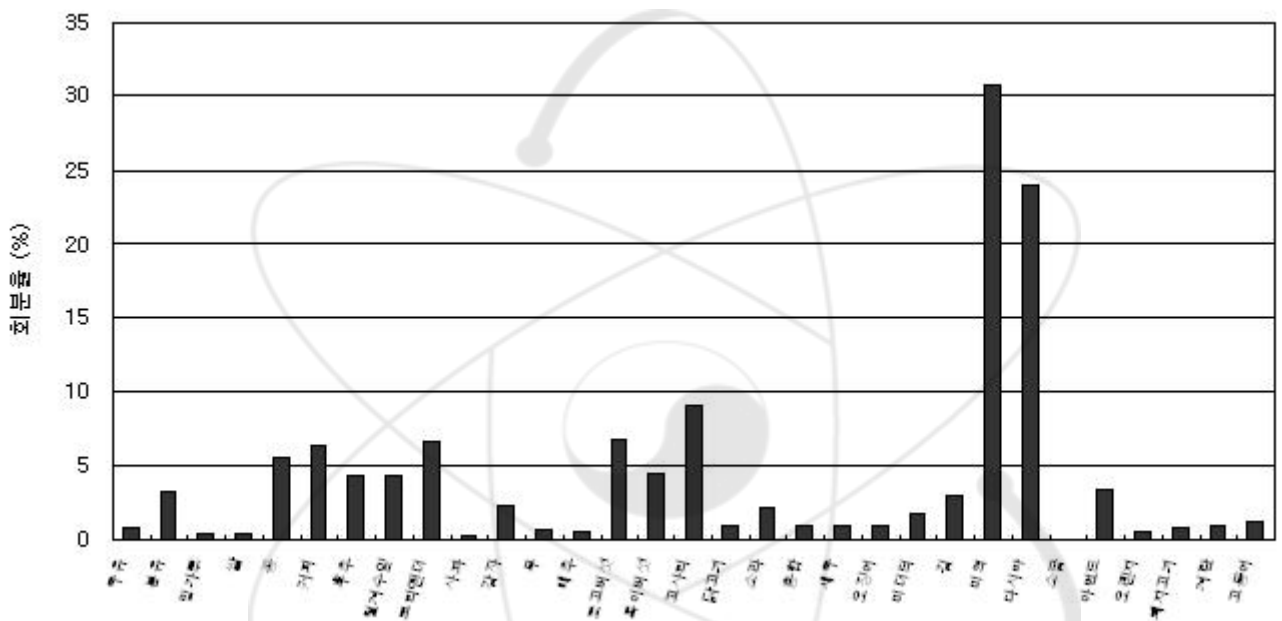


그림 6. 식품시료 종류별 회분율 분포 (제외한 소금은 96.99%).

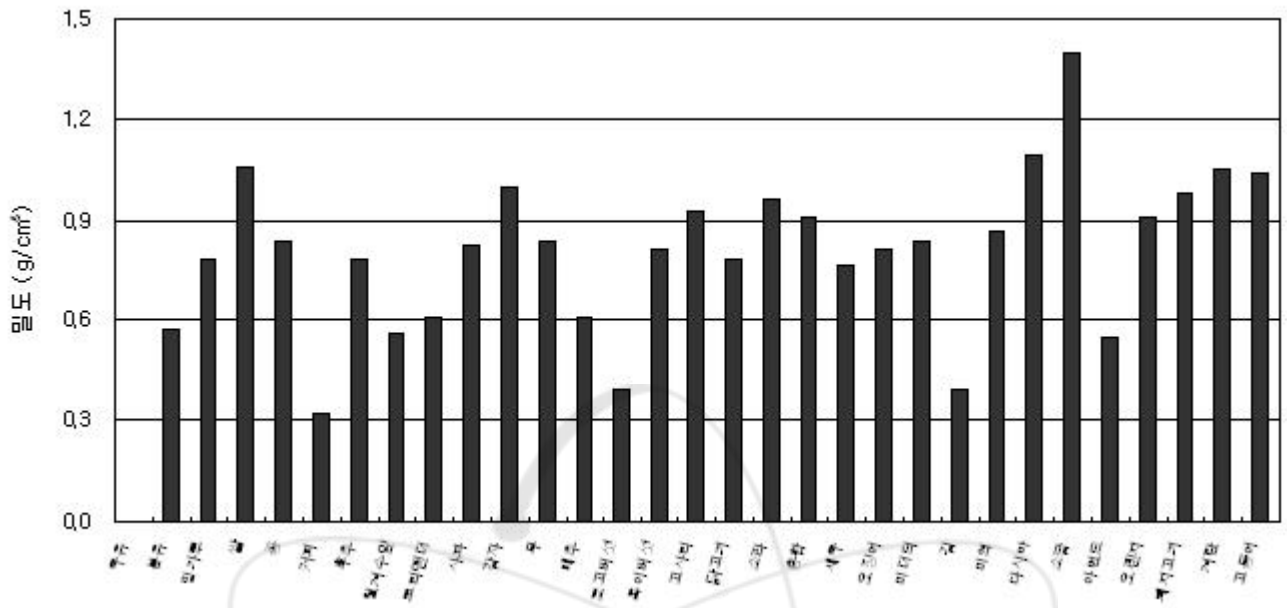


그림 7-a. 식품시료 종류별 밀도 분포 (건조분쇄시료); 우유는 제외.

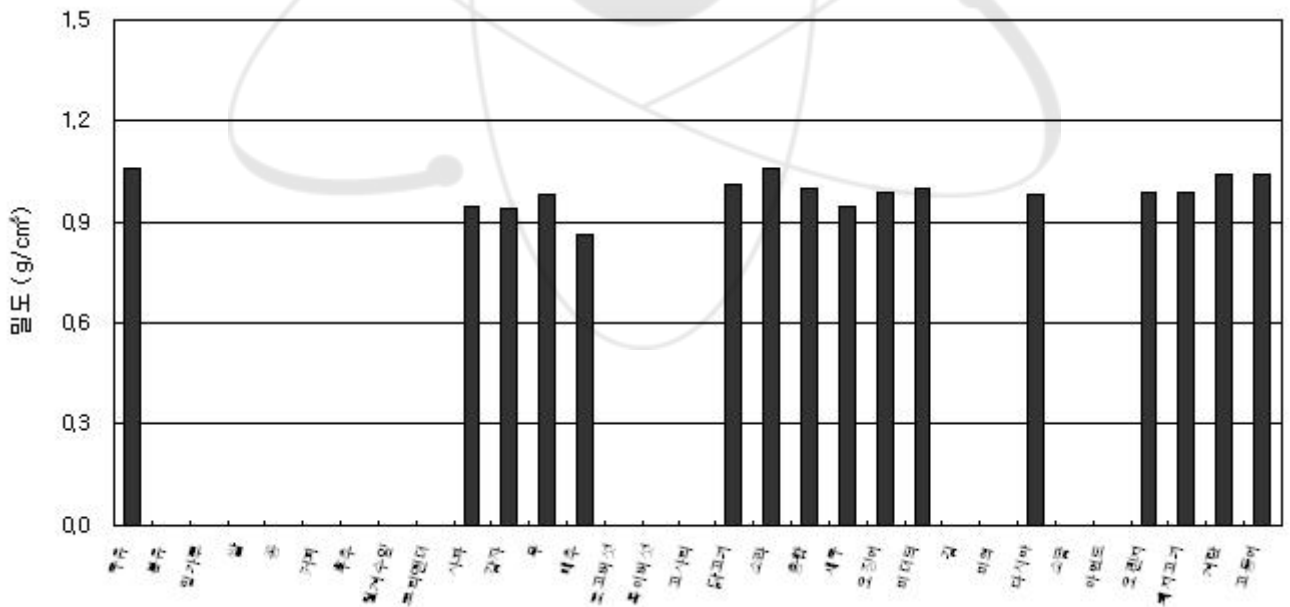


그림 7-b. 식품시료 종류별 밀도 분포 (생체분쇄시료); 표 4 참조.



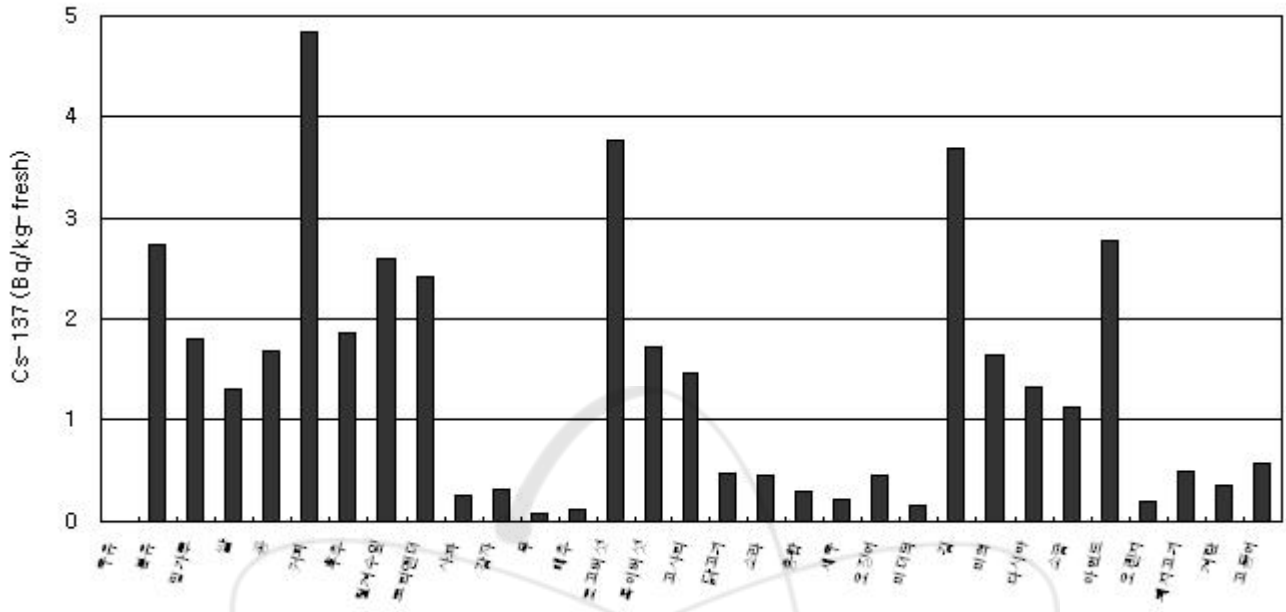


그림 8-a. 식품시료 종류별 Cs-137의 MDA 분포 (건조분쇄시료 20분 추정); 우유는 제외.

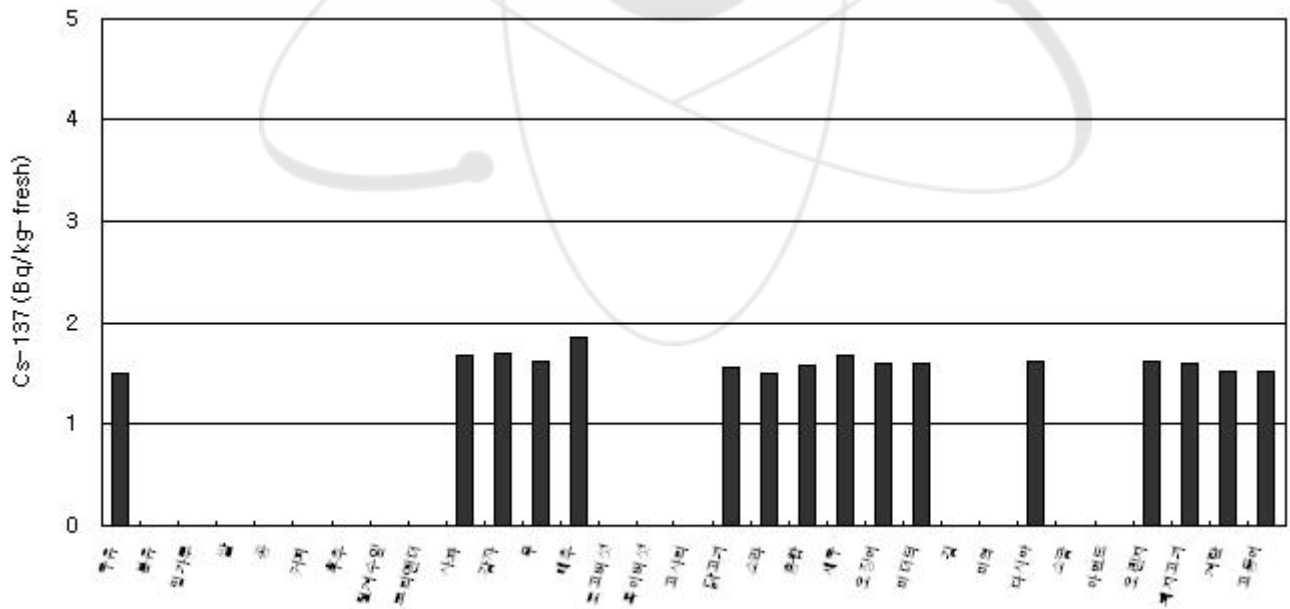


그림 8-b. 식품시료 종류별 Cs-137의 MDA 분포 (생체분쇄시료 20분 추정); 표 4 참조.



## 제 4 장 연구개발 목표 달성도 및 대외 기여도

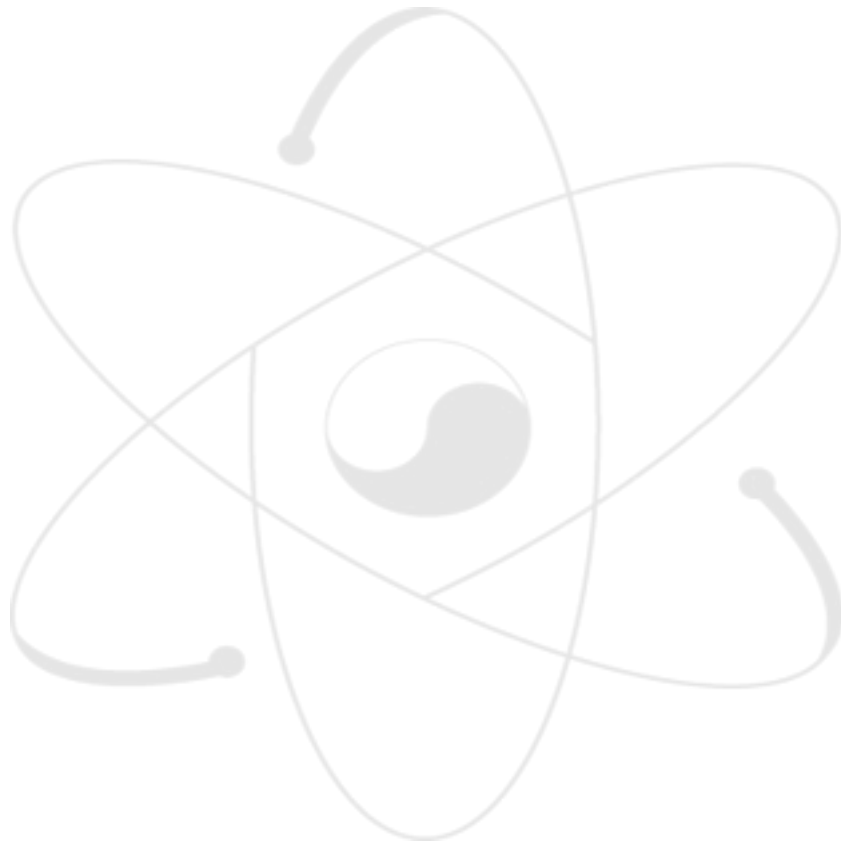
### 제 1 절 연구개발 목표 달성도

본 연구의 내용은 식품방사능 모니터링 기술개발과 식품방사능 모니터링 실용화와 식품 항목별 방사능 모니터링 방법을 체계화하고 절차를 확립하는 것이었다. 본 과제의 연구목표, 연구 내용과 범위 및 연구목표의 달성도는 다음과 같다.

최종연구목표	연구결과	달성도 (%)
<p>■ 식품방사능 모니터링 기술개발 및 실용화</p> <p>○방사능규제 관련 외국 사례 조사</p> <p>○식품 방사능 측정 방법 조사 및 식품시료 적용기술 개발</p> <p>○식품 방사능 분석 품질관리 방안 구축</p> <p>○식품 항목별 방사능 모니터링 방법 체계화 및 절차 개발</p>	<p>○영국, 뉴질랜드, 일본 등의 방사능 규제 현황을 조사하였음</p> <p>○환경방사능 분석법 관련 국제규격(KOLAS, ISO, ASTM)과 식품공전의 “방사능 측정허용기준 시험법”을 비교 검토하였음</p> <p>○온실에서 방사능을 첨가하여 재배한 쌀을 이용하여 품질관리를 시료를 제조하였음. 또한 식품 종류별 다양한 밀도 변화로 인한 감마선 자체흡수보정을 빠르고 간편하게 할 수 있는 방법을 개발하였음.</p> <p>○식품 종류별로 구분하여 전처리 방법을 구체화하였으며, 식품의 항목을 크게 3개의 시료군(액상시료, 분말 및 분말화 가능시료, 젤 또는 젤화되는 시료)으로 분리하여 식품의 방사능 분석을 실용화하였으며, 시료군(특성)과 감시성격을 고려한 방사능조사절차와 측정표준편차를 고려하여 측정시간에 따른 방사능조사절차를 확립하였음</p>	<p>100</p> <p>100</p> <p>100</p> <p>100</p>

## 제 2 절 연구결과의 대외 기여도

본 과제를 기본으로 2003과 2004년도에 2차례에 걸쳐 식품의약품안전청의 연구 사업을 수탁과제 형태로 수행할 수 있었다. 또한, 식품의약품안전청에 “수입식품의 방사능오염 감시 대상국” 확대 건의(안)을 작성 제출하여 개정 중에 있으며, 식품의약품안전청에 “방사능 잠정허용기준시험법” 개정 건의(안)을 작성하여 제출하였으며 검토 중에 있다. 담배인삼공사의 대 독일 홍삼분말(캡슐) 수출과 관련하여, 홍삼에 대한 방사능분석 성적서 및 영문 표준 방사능 분석절차서를 작성하여 기술지원을 할 수 있었다.



## 제 5 장 연구개발결과의 활용 성과 및 계획

### 가. 계량적 성과

구분	논문제목	학술지 (회의)	년도/권/호	주관기관 (단체)	연구(발표) 자	
국내	게재	1. 식품에 대한 방사능 오염실태 조사	한국식품과학회지	2004/36/1 pp.183-187	한국 식품과학회	권기성, 정근호 외 12인
	발표	1. 수입식품의 방사능 오염실태 조사	'04 방사선 방어학회 춘계 학술발표회 논문집	2004, pp.158-161	대한 방사선 방어학회	정근호 외 7인
		2. 식품의 방사능 오염도 조사를 위한 전처리법 개선	'04 방사선 방어학회 춘계 학술발표회 논문집	2004, pp.423-425	대한 방사선 방어학회	이행필, 정근호 외 6인
		3. 수입식품 및 일부 국내생산식품의 방사능 오염실태 조사 (2003~2004)	'04 방사선 폐기물학회 추계 학술발표회 논문집	2004, pp.316-317	한국 방사선 폐기물학회	이행필, 정근호 외 4인
	4. 환경시료의 방사능 분석에서 자체흡수보정에 대한 간단하고 실용적인 방법	'04 방사선 폐기물학회 추계 학술발표회 논문집	2004, pp.318-319	한국 방사선 폐기물학회	이완로, 정근호 외 4인	
국외	게재					
	발표					

### 나. 활용계획

본 연구에서 개발된 식품 종류별 체계적인 전처리 방법은 식품공전의 “방사능 잠정허용기준 시험법” 중 시료 전처리 방법 개정시 활용할 수 있다. 측정시간에 따른 식품의 방사능조사절차는 제한된 식품방사능 분석 인력과 장비를 갖춘 기관(예, 식품의약품안전청 지청, 수산물품질검사원, 광역시/도 보건환경연구원 등)에서 효과적으로 활용될 수 있다.

## 제 6 장 참고문헌

- [1]. Hille R., Hill P., Heinemann K., Ramzaev V., Barkovski A., Konoplia V., Neth R. (2000), "Current development of the human and environmental contamination in the Bryansk-Gomel Spot after the Chernobyl accident," *Radiat. Environ. Biophys.*, **39**, 99-109.
- [2]. Till J. E. and Meyer H. R. Eds. (1983), "*Radiological Assessment : A Textbook on Environmental Dose Analysis*", chap. 5, NUREG/CR-3332, ORNL-5968, National Technical information service, U.S. Department of Commerce, Springfield, VA22151.
- [3]. IAEA (1982), "*Generic Models and Parameters for Assessing the Environmental Transfer of Radionuclides from Routine Releases*", Safety Series No. 57, Vienna.
- [4]. Scottish environmental protection agency (2001), "*Radioactivity in Food and the Environment, 2000*", RIFE-6, Scottish Environment Protection Agency.
- [5]. R.C. Carpenter, T.W. Sanders, L.M. Vernon, J. Toole, R.T. Morrison, and S.P. Alderson (1995), "The determination of low levels of radiocaesium and radioruthenium in foodstuffs", *Sci. Total Environ.*, **173/174**, 169-178.
- [6]. 식품공전 (2002), p. 126, 식품의약품안전청.
- [7]. 일본후생노동성 (2001), "방사능잠정한도를 초과한 수입식품의 적발(제34보)", <http://www.mhlw.go.jp/houdou/0111/h1108-2.html>(2001.11.8).
- [8]. 일본후생노동성 (2001), "방사능잠정한도를 초과한 수입식품의 적발(제34보)", <http://www.mhlw.go.jp/houdou/0111/h1108-2.html>(2001.11.8).
- [9]. EML procedure manual (1988), HASL-300, US Dept. of Energy.
- [10]. IAEA (1989), "*A Guidebook : Measurement of Radionuclides in Food and the Environment*", Technical Reports Series No. 295, Vienna.
- [11]. 한국원자력안전기술원, 원자력시설 주변 방사선 환경 조사 및 평가보고서 (2001).
- [12]. 한국원자력연구소, 원자력시설 주변 방사선 환경 조사계획 (2001).
- [13]. Michael E. Kitto, "Determination of Photon Self-absorption Corrections for Soil Samples", *Appl. Radiat. Isot.* Vol. 42, No.9, pp.835-839,1991.
- [14]. M.Hasan et al., "A Simplified Technique to Determine the Self-absorption Correction for Sediment Samples", *Appl. Radiat. Isot.* Vol. 57, pp.915-918, 2002.
- [15]. P. Dryak et al., "Corrections for the Marinelli Geometry", *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, letters 135, No.4, pp.281-292, 1989

서 지 정 보 양 식

서 지 정 보 양 식					
<b>수행기관보고서번호</b>		위탁기관보고서번호	표준보고서번호	INIS 주제코드	
KAERI/RR-2483/2004					
제목 / 부제		식품방사능 모니터링 체계화 연구			
연구책임자 및 부서명		정 근 호 (원자력환경연구부)			
연구자 및 부서명		이창우, 최근식, 조영현, 이완로, 박두원, 이행필 (원자력환경연구부)			
출판지	대전	발행기관	한국원자력연구소	발행년	2005. 2
페이지	31	도표	있음( O ), 없음( )	크기	26 Cm.
참고사항					
비밀여부	공개(O), 대외비( ), _급비밀		보고서종류	연구보고서	
연구위탁기관				계약번호	
초록 (15-20줄내외)		<p>식품 방사능 규제관련 미국, 영국, 뉴질랜드, 일본 등의 현황을 조사하였으며, 환경 방사능 분석법 관련 국제규격(KOLAS, ISO, ASTM)과 식품공전의 “방사능 잠정허용기준 시험법”을 비교 검토한 결과 “시료 전처리”와 “방사능 측정결과 처리” 등에서 나타난 몇 가지 문제점을 개선하였다. 식품 방사능 분석 품질관리를 위하여, 온실에서 인위적으로 방사능 (Cs-137) 첨가 재배된 쌀을 이용하여 품질관리용 시료를 제조하였다. 식품종류별로 겉보기 밀도가 0.3~1.4 g/cm<sup>3</sup>를 나타냈으며, 이처럼 큰 밀도 차이에 의한 식품시료의 감마선 자체흡수보정을 간편하고 빠르게 할 수 있는 실용적인 방법을 개발하였다. 식품의 항목을 크게 3개의 시료군(액상시료, 분말 및 분말화 가능시료, 젤 또는 젤화되는 시료)으로 분류하여 식품의 방사능 분석시 시료의 전처리 절차를 체계화하였다. 그리고 이들 시료군(특성)과 감시성격(핵사고 등 긴급시, 통관 전 장기간 보관이 어려운 수입식품)을 고려하여 효율적으로 적용할 수 있는 방사능조사절차를 확립하였다. 또한 식품의 방사능 분석시 인력과 장비, 시간의 제약을 효과적으로 극복할 수 있도록 측정표준편차를 고려하여 측정시간에 따른 식품의 방사능조사절차를 확립하였다.</p>			
주제명키워드 (10단어내외)		식품, 방사능, Cs-137, 자체흡수보정, 측정표준편차, 방사능조사절차			

BIBLIOGRAPHIC INFORMATION SHEET					
Performing Org. Report No.		Sponsoring Org. Report No.		Standard Report No.	
KAERI/RR-2483/2004					
Title / Subtitle		Development of monitoring system on radioactivity in foodstuffs			
Project Manager and Department		Chung, Kun Ho (Nuclear Environment Research Div.)			
Researcher and Department		C.W. Lee, G. S. Choi, Y. H. Cho, W. Lee, D. W. Park, H. P. Lee (Nuclear Environment Research Div.)			
Publication Place	Taejon	Publisher	KAERI	Publication Date	2005. 2
Page	31	Fig. & Tab.	Yes( O ), No ( )	Size	Cm.
Note					
Classified	Open( O ), Restricted( ), _ Class Document		Report Type	Research Report	
Sponsoring Org.			Contract No.		
Abstract (15-20 Lines)					
<p>The various standard operational procedures (KOLAS, ISO, ASTM) for the determination of gamma emitting radionuclides in foodstuffs were deeply examined and compared to the KFDA standard procedure. Differences are observed in the sample preparation methods, the radioactivity measurement and data report. For the quality control (QC) of the radioactivity analysis of foodstuffs, the QC sample was prepared with Cs-137 spiked rice. The simple and practical method was developed for the self-absorption correction of gamma-ray according to the matrices with the various apparent density of foodstuffs. The foodstuffs were categorized with three classes according to its characteristics (powder, liquid and gel properties) and the sample preparation methods were improved according to its categories. The monitoring procedure to identify the contaminated foodstuffs was developed based on the uncertainty and measurement time.</p>					
Subject Keywords (About 10 words)		foodstuffs, radioactivity, Cs-137, self-absorption correction, uncertainty, monitoring procedure for radioactivity			