



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

2014년 2월

석사학위 논문

후쿠시마 원자력발전소 사고에 따른  
국내 식품(버섯)의 방사능 영향

조선대학교 대학원

원자력공학과

주 선 동

# 후쿠시마 원자력발전소 사고에 따른 국내 식품(버섯)의 방사능 영향

The Influence of Radioactivity due to Hukushima Nuclear Power Plant  
Accident on Domestic Foods(Mushrooms)

2014년 2월 25일

조선대학교 대학원

원자력공학과

주 선 동

# 후쿠시마 원자력발전소 사고에 따른 국내 식품(버섯)의 방사능 영향

지도교수      정   운   관

이 논문을 공학 석사학위신청 논문으로 제출함

2013년 10월

조 선 대 학 교   대 학 원

원자력공학과

주      선      동

# 주선동의 석사학위 논문을 인준함

위원장    조선대학교 교    수    이 경 진 (印)

위    원    조선대학교 교    수    정 운 관 (印)

위    원    조선대학교 교    수    김 진 원 (印)

2013 년    11 월

조선대학교 대학원

# 목 차

표 목차 .....	3
그림 목차 .....	5
ABSTRACT .....	6
제1장 서 론 .....	1
제2장 본 론 .....	4
제1절 연구 목적 및 국내현황.....	4
1. 연구 목적 .....	16
2. 국내 현황 .....	16
제2절 실험장치 및 방법 .....	16
1. 전처리 .....	16
2. 실험장치 .....	21
3. 실험 이론 .....	25
제3절 방사능농도 계측 결과 .....	31
제3장 결론 .....	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 방사능허용기준(2013.09.09.)	2
표 1.1.3	CODEX(38CK CCFAC, 2006.04.24~28)	3
표 2.2.1	실험에 사용한 검출기 제원	10
표 2.2.2	혼합감마선원의 핵종별 에너지	15
표 2.2.3	geometry에 따른 에너지 교정식	17
표 2.2.4	geometry에 따른 효율 교정식	18
표 2.3.1	SAMPLE A 측정결과	20
표 2.3.2	SAMPLE B 측정결과	21
표 2.3.3	SAMPLE C 측정결과	22
표 2.3.4	SAMPLE D 측정결과	23
표 2.3.5	SAMPLE E 측정결과	24
표 2.3.6	SAMPLE F 측정결과	25
표 2.3.7	SAMPLE G 측정결과	26
표 2.3.8	SAMPLE H 측정결과	27
표 2.3.9	방사성핵종의 선량환산인자	28
표 2.3.10	SAMPLE A 피폭선량	29
표 2.3.11	SAMPLE B 피폭선량	29
표 2.3.12	SAMPLE C 피폭선량	29
표 2.3.13	SAMPLE D 피폭선량	30
표 2.3.14	SAMPLE E 피폭선량	30
표 2.3.15	SAMPLE F 피폭선량	30
표 2.3.16	SAMPLE G 피폭선량	30
표 2.3.17	SAMPLE H 피폭선량	31

# 그림 목 차

그림 2.1.1 건조법 전처리 단계 .....	9
그림 2.2.2 HPGe 스펙트럼 분석 절차 .....	11



## ABSTRACT

### The Influence of Radioactivity due to Hukushima Nuclear Power Plant Accident on Domestic Foods(Mushrooms)

Sun Dong Ju

Advisor : Prof. Chung, Woon-kwan

Department of Nuclear Engineering

Graduate School of Chosun University

The concerns about environmental radioactivity is increasing due to Hukushima nuclear power plant accident caused by tsunami in 2011. Environmental radioactivity is classified into natural radioactivity nuclide and artificial radioactivity nuclide. Natural radioactivity has been existing ever since the earth was created and great amount of artificial radioactivity nuclide has been released because of numerous nuclear bombing experiment implemented between 1950 to early 1960s and Chernobyl nuclear power plant accident in Russia in 1986. These artificial radioactive substance causes internal exposure after being taken into the body through various paths.

The regulation of pollution of imported and exported foods was reinforced to prevent foods polluted by artificial radioactivity released into environment from being distributed. The pollution of surrounding nuclear facilities is watched by Korea Institute of Nuclear Safety, Korea Hydro & Nuclear Power Co. and Ltd., private observation center, university research center and etc. in Korea and the imported foods are managed by tentative allowable standards set by Korea Food & Drug Administration. Regulation of radioactivity pollution changed into foods originated from Japan and the rest area after Hukushima Nuclear Power Plant accident and the standard of Cesium has been strengthened from 370 Bq/kg to 100 Bq/kg.(2013.09.06)

The radioactivity of homegrown mushrooms (shiitake) were gathered and analyzed after Hukushima Nuclear Power Plant accident in this study. The

shiitake mushrooms were chosen since there has been continuous report on radioactivity detection and the influence of radioactivity of the rest mushrooms that are grown in facilities can not be found thus the shiitake mushrooms grown outdoor with rain-proof methods were selected for sample to analyze radioactivity in this study.

About 4kgs of these shiitake mushrooms were gathered from 8 points of the whole country. The methods of experimenting harmful substance among foods in chapter 10 of book 2 of standard of foods (Food fair) according to clause 7 of Food Sanitation Act were referred for drying methods since shiitake contains lots of moisture and they were dried with heated air drier of 105°C after being dried with wind for 1~2 days until they are easily pulverized then they were powered using blender before they reabsorb moisture, put into measuring container (450ml Marinelli Beaker), pressed to minimize the volume with equal distribution, weighed and measured with high purity germanium gamma nuclide analyzer for 10,000 and 80,000 seconds.

The measuring equipment should be able to evaluate precisely and correctly in analyzing and evaluating gamma nuclide. Thus standardized nuclide were used for measuring by detection device of measuring equipment which Korea Research Institute of Standards & Science keeps radioactivity standards for correction of the equipment and the substance used for correction is standard radioactivity source. Effective correction should be performed since the efficiency of measurement of the equipment differs according to gamma rays energy and the radioactivity concentration was calculated and applied after sample measurement by calculated effective correction formula based on each geometry. The correction result was fine with the error range of all within  $\pm 5\%$  when the radioactivity certified value of mixed gamma rays source according to each geometry and the measured value of analyzing instrument were compared after energy and efficiency correction. Only tiny amount of Cs-137 that can not reach the radioactivity allowable standard was detected from all the samples.

$0.0106 \pm 1.1$  (Bq/kg-fresh) was detected from rice,  $0.0272 \pm 3.0$  (Bq/kg-fresh) was detected from chinese cabbage in national environment radioactivity inspection

of Korea Institute of Nuclear Safety in 2012. Imported and distributed foods and homegrown foods were purchased and preprocessed to analyze the gamma nuclide rays in radioactivity pollution among foods inspection ( inspection and research of Korea Atomic Energy Research Institute 2007) Average of 39.40Bq/kg was detected from chaga mushrooms as a result Radioactivity pollution of imported and homegrown foods was inspected in establishing radioactivity analyzing methods and inspecting pollution among foods ( report of Mistry of Food and Drug Safety 2008) I-131, Cs-134, 137 which are gamma nuclide of food fair were not detected, and chaga among foods, blueberry jam and blueberry powder among fruits contained comparatively more than other foods but with much lower level than radioactivity allowable standard(370Bq/kg). The concentration is similar or lower than the past report like above results. There is almost no influence on the body assuming that ordinary person took in that detected radioactivity concentration for a year and calculated the effective amount  $8.99E-02$  mSv/yr is the amount which is much lesser than 1.0 mSv of intake limit of ordinary person according to item 4 of clause 2 of Nuclear Safety Reinforcement Act. It is concluded that there is almost no influence of Hukushima nuclear power plant accident since there is no Cs-134 detected.

# 제 1 장 서 론

2011년 쓰나미에 의한 일본 후쿠시마 원자력발전소의 사고의 영향으로 환경방사능에 대한 관심과 우려가 높아지고 있다. 환경방사능은 자연방사성 핵종과 인공방사성 핵종으로 구분되어 지고 자연 방사성 핵종은 지구 생성과 동시에 존재해 왔으며, 인공방사성 핵종은 1905년부터 1960년대 초까지 이루어진 수많은 핵폭발 실험 및 1986년 구소련의 체르노빌 원자력발전소 사고 등으로 많은 양의 인공방사성 물질이 방출되었다. 이러한 인공방사성 물질이 다양한 경로를 통하여 인체에 섭취되어 내부 피폭의 원인이 되고 있다.

후쿠시마 원자력발전소 사고 그 후 세계 각국에서는 수출입 식품 중 환경에 방출된 인공방사능에 의해 오염된 식품의 유통을 방지하기 위해 수출입 식품에 대한 오염규제가 강화되었다. 국내에서는 원자력시설 주변 환경의 오염에 대해서 한국원자력안전기술원, 한국수력원자력주식회사, 민간 감시센터, 대학의 연구시설 등에서 감시하고 있으며, 국내로 반입되는 식품에 대해서는 식품의약품안전청에서 잠정허용기준을 제정하여 관리하고 있다. 이는 후쿠시마 원전의 사고 이후 식품 중 방사능 오염규제는 일본을 원산지로 하는 식품과 그 외 지역으로 바뀌게 되었고, 세슘에 대한 기준도 기존 370 Bq/kg에서 100 Bq/kg으로 강화 하였다.

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.<sup>1)</sup>

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 1.1.2 와 같다.

표 1.1.2 우리나라식품 중 방사능 허용 기준(2013.09.09.)

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	100	50
	음료수	100	10
	기타식품	100	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 0와 같다.

표 1.1.3 CODEX(38차 CCFAC, 2006.04.24 ~ 28)<sup>4)</sup>

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.

후쿠시마 원자력발전소의 사고 이후 방사능 분석에 대한 관심과 우려가 커지면서 개인 및 단체에서 여러 기관에 의뢰하여 얻은 방사능분석 결과에서 버섯(표고버섯)에서 Cs-137이 검출되었다. 이러한 결과를 바탕으로 불확실한 정보를 통해 공포심을 유발하는 정보가 일반인들 사이에서 확산되어가고 있는 상황이다.

본 연구를 통하여 전국의 식품(표고버섯)을 채취하여 방사능 분석을 하고 과거의 분석 결과와 비교하여 식품(표고버섯)에서 검출된 방사능이 후쿠시마 원자력발전소의 사고 영향인지 파악하고, 특정 식품(표고버섯)에서 검출되는 이유는 무엇인지, 또한 검출된 방사능은 인체에 어느 정도의 영향을 미치는지 알아보고자 한다.

## 제 2 장 본 론

### 제 1 절 연구 목적 및 국내 현황

#### 1. 연구 목적

현재 국내의 원자력시설 주변 환경의 오염에 대해서는 한국원자력안전기술원, 한국수력원자력주식회사, 민감 감시센터, 대학의 연구시설 등에서 감시하고 있으며, 국내로 반입되는 식품에 대해서는 식품의약품안전처에서 관리하고 있다. 조선대학교는 식품의약품안전처로부터 식품위생검사기관으로 지정받아 식품에 대한 방사능 검사를 진행하고 있으며, 다양한 식품 또는 식품첨가물에 대하여 검사를 진행하였다. 대부분의 시료에서 인공방사능핵종은 검출되지 않았으며, 몇몇 시료 주로 버섯종류에서 인공방사성 물질인 세슘이 검출되었다. 하지만 현재 한빛원자력발전소부지외부 환경방사능조사를 수행하면서 쌀, 보리, 배추 등에서는 검출이 되지 않으며, 다른 원자력발전소의 부지주변 환경방사능 조사결과에서도 토양, 해저퇴적물에서 미량을 세슘이 검출된 경우는 있지만 식품에서 검출된 경우는 없었다. 2008년 한국원자력연구원에서 실시한 식품 중 방사능 분석법 확립 및 오염실태 조사 보고에서는 국내산 식품에서는 요오드 및 세슘이 최소검출가능농도(MDA) 이하로 검출 되었으나, 수입산 차가버섯에서는 세슘이 검출되었다. 다른 식품분석 보고서에서도 버섯 종류에서만 인공방사능핵종이 검출이 되었음을 알 수 있었다. 이러한 결과로 보아 버섯이 방사능에 대한 특성이 있다고 생각되어 2011년 후쿠시마 원자력발전소 사고 이후 국내 식품(버섯)에 방사능 영향이 있는지 평가하고, 제한적이지만 선량평가를 해보고자 한다.

## 2. 국내 현황

### 가. 원자력발전소부지외부 환경방사능조사

원자력안전위원회 고시 제2012-5호(원자력이용시설 주변의 방사선환경조사 및 방사선환경영향 평가에 관한 규정) 및 한국수력원자력주식회사에 의해 수립되고 원자력안전위원회로부터 승인된 ‘원자력발전소 주변 환경방사선조사계획’ (이하 “조사계획”이라 함)에 따라 시행 되고 있다. 원자력발전소 주변의 환경방사능 조사 목적은 발전소 가동으로 인해 주민들이 받게 되는 방사선량이 연간 선량한도 이내로 충분히 낮게 유지되는지 확인함으로써 주민의 건강과 안전을 확보하고 환경의 방사능 오염을 조기에 감지하여 오염을 최소화 하는데 있다.

조사계획에는 원자력발전소 운영이 환경에 미치는 방사선 영향을 조사·평가하기 위한 조사항목, 조사지점, 조사주기, 조사방법 등이 제시되어 있다. 원자력발전소 부지 외부 조사지점에 대한 시료 채취 및 분석은 원자력발전소가 소재한 지역의 대학에 위탁하여 수행하고 있으며, 부지 내부의 조사지점에 대한 시료 채취 및 분석은 각 원자력발전소의 환경실험실에서 수행한다. 조사 결과의 신뢰성을 제고하기 위해 일부 지점에 대해서는 대학과 원자력발전소에서 중복하여 시료를 채취·분석 하였다.

조사항목은 방사선과 방사능 분야로 대별된다. 방사선은 공간선량률을 감시하며 지상 공간 중의 감마방사선의 단기적 변동상태를 파악하지 위한 감마선량을 측정하고 사람의 신체 외부로부터의 방사선에 의한 피폭선량을 추정하기 위해 집적선량을 측정한다.

방사능은 주민선량 평가와 환경 중의 방사능 상태를 확인하기 위하여 측정한다. 이와 관련하여 호흡에 의한 영향평가를 위해 공기 중의 방사능을, 섭취에 의한 영향평가를 위해 식수, 지하수, 농축산물, 어·패류 및 해조류 중의 방사능을 분석한다. 또한 환경 중 방사성물질의 축적경향을 파악하기 위해 지표생물과 표층토양, 해저퇴적물 및 저서생물 시료의 방사능을 분석하여 방사능 준위를 파악을 위해 지표수와 해수를 측정한다.

조사대상은 고리, 영광, 월성 및 울진 원자력발전소 부지 주변의 육상 및 해양의 방사선량과 각종 시료의 방사능 농도이며, 육상은 발전소로부터 5 km 이내를 집중 조사하며 해양은 발전소 배수구 주변을 집중 조사하고 있다. 또한 시료 종류별로 발전소로



부터 16 km이상 떨어진 비교지점을 1곳 이상 선정하여 자연방사선(능) 준위를 확인하고 있다.

조사결과 2010년 국내 원자력발전소 주변의 환경방사선량은 과거 또는 일반지역과 비교하여 유의할 만한 변화가 발견되지 않았고 자연방사선 수준과 차이가 없었고, 환경시료의 분석 결과 과거 핵실험의 잔류 영향에 의해 반감기가 긴 세슘137, 스트론튬90이 환경에서 지속적으로 검출되고 있으며, 원자력발전소 운영에 기인하는 핵종인 삼중수소, 코발트60, 망간54 등이 미량 검출되었다.

2011년 공간선량률과 공간직접선량 등 국내 원자력발전소 주변의 환경방사선량은 과거 또는 일반지역과 비교하여 유의할 만한 변화가 발견되지 않았고 자연방사선 수준과 차이가 없었다. 환경시료의 분석 결과, 과거 핵실험의 잔류 영향에 의해 반감기가 긴 세슘137, 스트론튬90이 환경에서 지속적으로 검출되고 있으며, 원자력발전소 운영에 기인하는 핵종인 삼중수소, 코발트60, 망간54 등이 미량 검출되었다. 2011년 3월 이후 국내원전 주변의 공기 및 육상, 빗물, 슬러지, 해조류 등 시료에서 요오드131 세슘134 및 세슘137이 검출되었다. 이러한 핵종들이 검출된 것은 단반감기 핵종인 요오드131(반감기 8.04일) 및 사고시 거동을 같이하는 세슘134(반감기 2.06년)와 세슘137(반감기 30년)이 전국적으로 동반 검출된 것과 국내원전에서 이러한 핵종들을 배출한 적이 없는 것 등을 종합해 볼 때 후쿠시마 원전사고의 영향으로 판단된다.

2012년 측정된 공간선량률과 공간직접선량 등 국내 원자력발전소 주변의 환경방사선량은 과거 또는 일반지역과 비교하여 유의할 만한 변화가 발견되지 않았고 자연방사선 수준과 차이가 없었다. 환경시료의 분석 결과, 과거 핵실험의 잔류 영향에 의해 반감기가 긴 세슘137, 스트론튬90이 환경에서 지속적으로 검출되고 있으며, 원자력발전소 운영에 기인하는 핵종인 삼중수소, 코발트60, 망간54 등이 미량 검출되었다. 2011년 3월 이후 국내원전 주변의 일부 지점에서 사고시 거동을 같이하는 세슘134(반감기 2.06년)와 세슘137(반감기 30년)이 동반 검출된 것과 국내원전에서 이러한 핵종들이 배출한 적이 없는 것 등을 종합해 볼때 후쿠시마 원전사고의 영향으로 판단된다.

## 나. 전국환경방사능조사

국내외 원자력 및 방사선사고 등 방사능 이상사태를 조기에 탐지하여 적시에 적절한 방사능 방재대책을 마련하기 위한 정보를 제공함으로써 국민의 건강을 보호하고 국토환경을 보전하는데 그 목적이 있다. 이를 위해서 한국원자력안전기술원에서는 원자력안전법에 근거하여 전국토 환경방사선/능 준위변동에 대한 일상적인 감시와 더불어 비상시 환경영향평가를 위한 우리 주변의 생활환경에 대한 방사능 조사 등을 수행하고있다.

전국 지방방사능측정소는 공기부유진, 낙진, 강수, 상수의 전베타 및 감마핵종을 방사능을 주기적으로 측정하여 각 시료의 준위변동을 감시하였으며, 중앙방사능측정소는 전국 120개 지점에 설치된 환경방사선감시기의 데이터를 실시간으로 수집하여 전국토 환경방사선의 준위 변동을 감시하였다. 또한 중앙방사능측정소는 자체 모니터링 시설 내에서 공기부유진, 강수, 낙진시료를 매월 채취하여 감마핵종 방사능을 정밀 분석 하였다. 또한 TLD를 이용한 전국 49개 지역의 집적선량평가와 중앙방사능측정소에서 채집한 강수 중의 삼중수소 방사능농도 조사를 수행 하였다. 일반 국민의 방사선 내부피폭평가를 위한 기초자료 확보를 위해서 우리나라 국민들이 주로 많이 섭취하는 주요 식품시료를 주요 도시의 시장에서 구매하여 방사능농도를 조사하였다. 그 결과 2010년 쌀(세슘137 0.00901 Bq/kg-fresh)과 배추(세슘137 0.0146 Bq/kg-fresh)이 검출되었다. 또한 토양에서는 세슘137이 1.18 Bq/kg.dry ~ 9.64 Bq/kg.dry 검출되었고, 우유에서는 0.0202 Bq/kg-fresh 검출되었다. 2011년에는 쌀(세슘137 0.0227 Bq/kg-fresh)과 배추(세슘137 0.0369 Bq/kg-fresh)이 검출되었다. 또한 표층토양에서 세슘137이 0.758 Bq/kg.dry ~ 12.9 Bq/kg.dry 검출되었고, 우유에서는 불검출 되었다. 2012년 조사에서는 쌀(세슘137 0.0106 Bq/kg-fresh)과 배추(세슘137 0.0272 Bq/kg-fresh)이 검출되었다. 표층토양에서는 0.675 Bq/kg.dry ~ 29.7 Bq/kg.dry이 검출되었으며, 우유에서는 0.0239 Bq/kg-fresh 검출되었다. 이러한 결과를 바탕으로 2011년 3월 11일 일본 후쿠시마 원전사고에 의한 인공방사성핵종의 방사능은 급속히 감소하였으나, 중장 반감기 핵종인 세슘134, 137은 간헐적으로 검출되고 있다.

## 제 2 절 실험장치 및 방법

### 1. 전처리

#### 가. 대상 시료의 선정

후쿠시마 원자력발전소 사고 이후 방사능에 대한 국민적 우려로 인해 수많은 식품에 대한 방사능 검사가 강화되고 2012년에 환경운동연합에서 발표한 자료에 따르면 국내 산 말린 표고버섯에서 인공방사성핵종인 Cs-137이 2Bq/kg이 검출이 되었다는 발표를 하였다. 그 후 여러 단체에서 인공방사성핵종인 Cs-137이 검출되었다고 발표하였다. 표고버섯은 비가림 재배를 통한 노지에서 생산을 하나 여타 버섯은 시설재배를 많이 하므로 표고버섯이 대상 시료로 적합하다고 판단 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 전국의 표고버섯 농장에서 원목재배와 비가림 재배방법을 사용하는 농장 8개를 선택하여 생표고 버섯을 4kg 구매하여 실험하였고 실험의 정확성을 위하여 동일한 방법을 이용하여 실험하였다.

## 나. 시료 전처리

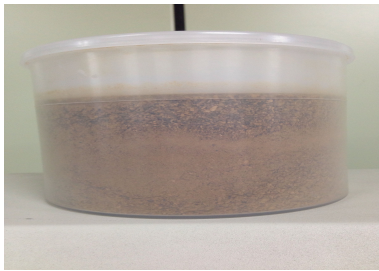
생 표고버섯의 경우 수분을 많이 함유하고 있는 식품이므로 식품위생법 제 7조에 따른 식품의 기준 및 규격(식품공전) 제2권 10절을 식품 중 유해물질시험법에서 건조법 참고하여 표고버섯을 1~2일간 바람에 건조시킨 후 분쇄하기 쉬울 때까지 105℃의 열풍건조기에서 건조하여 건조된 것은 습기가 재흡수되기 전에 분쇄기를 사용하여 분말로 만든 후 측정용기(450 Marinelli Beaker)에 분말을 넣고 균질한 분포가 되도록 압축하였다. 모든 시료는 분석량을 계산하여 실험하였다.



1. 버섯 구매



2. 건조



3. 분쇄, 충전



4. 계측

그림 2.2.1 건조법 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 $\mu$ sec
Threshold	15 %
Input Polarity	+
Pur	ON
Relative Efficiency	30%
Model	CANBERRA GC301809
Program	Genie-2000

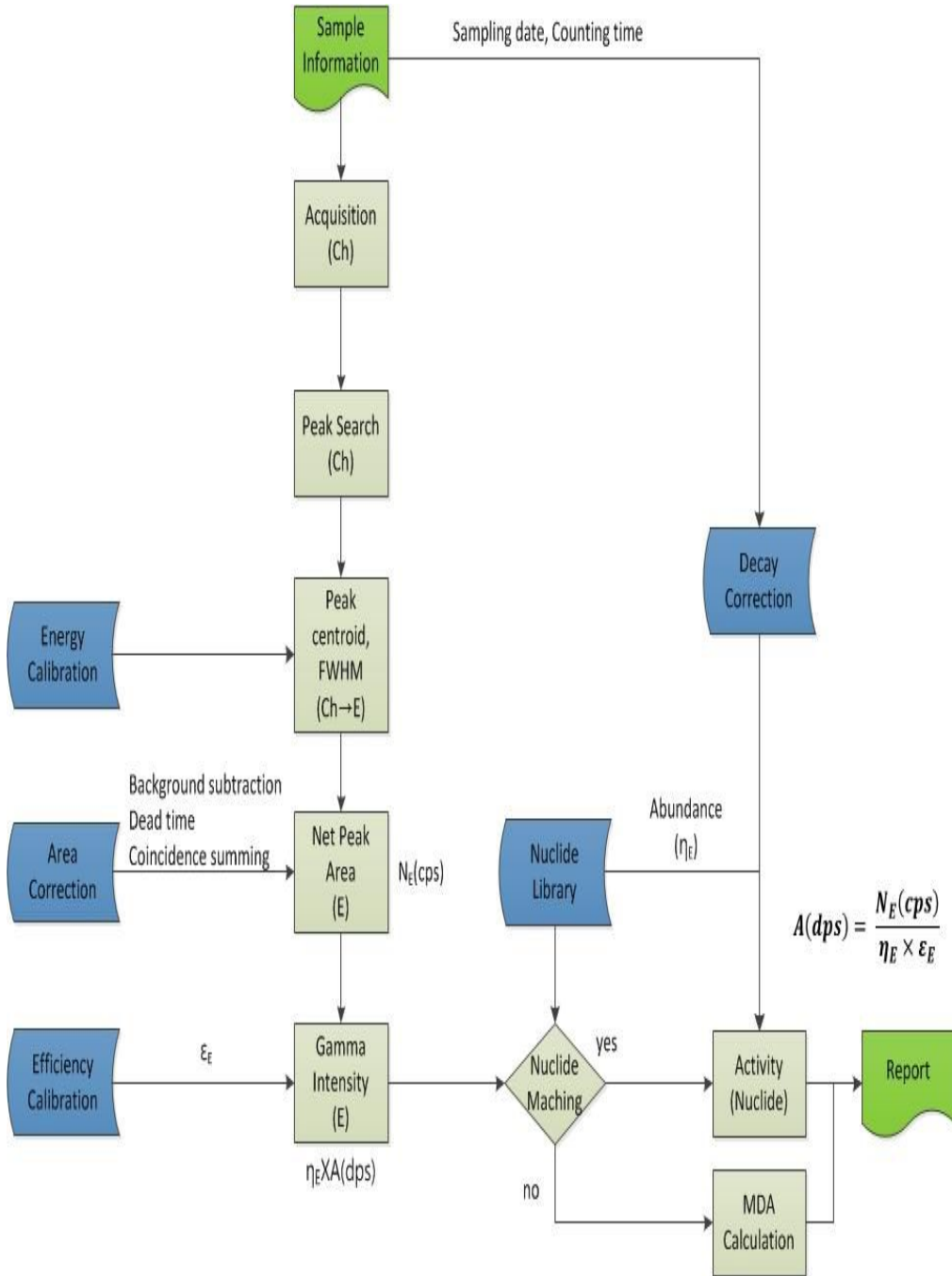


그림 2.2.2 HGe 스펙트럼 분석 절차

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

생 표고버섯의 수분이 매우 많은 시료이므로 105℃의 온도로 24시간의 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. 실험재료

시료의 경우 재배 환경을 비가림 재배와 원목재배로 한정하여 전국의 농장에서 임의 선정하여 8개의 샘플을 구매하였고, 실험의 오차를 줄이기 위하여 건조된 버섯이 아닌 생표고버섯을 사용 하였다.



### 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.<sup>5)6)</sup>

## 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	$\ln(\text{eff}) = -5.615e+0.01 + 2.250e+001 * \ln(E)$ $-2.343e+000 * \ln(E)^2$ $\ln(\text{eff}) = 8.333e+001 - 5.628e+001 * \ln(E) + 1.399e+001 * \ln(E)$ $)^2 -$ $1.548e+000 * \ln(E)^3 + 6.336-002 * \ln(E)^2$ $\ln(\text{eff}) = -6.196e+001 + 2.511e+001 * \ln(E)$ $-2.647e+000 * \ln(E)^2$
40ml Cylindrical Bottle Type	$\ln(\text{eff}) = -7.455e+002 - 6.151e+002 * \ln(E) - 2.024e+002 * \ln(E)$ $)^2 +$ $3.314e+001 * \ln(E)^3 - 2.702-002 * \ln(E)^4 + 8.774-002 * \ln(E)$ $)^5$ $\ln(\text{eff}) = -5.798e+001 + 2.275e+001 * \ln(E)$ $-2.355e+000 * \ln(E)^2$
450ml Marinelli Beaker Type	$\ln(\text{eff}) = -5.122e+002 + 4.197e+002 * \ln(E) - 1.375e+002 * \ln(E)$ $)^2 +$ $2.245e+001 * \ln(E)^3 - 1.827-000 * \ln(E)^4 + 5.924e-002 * \ln(E)$ $)^5$ $\ln(\text{eff}) = -6.408e+001 + 2.537e+001 * \ln(E)$ $-2.652e+000 * \ln(E)^2$
1000ml Marinelli Beaker Type	$\ln(\text{eff}) = -6.763e+002 + 5.492e+002 * \ln(E) - 1.783e+002 * \ln(E)$ $)^2 + 2.882e+001 * \ln(E)^3 - 2.322-000 * \ln(E)^4 + 7.454e-00$ $2 * \ln(E)^5$ $\ln(\text{eff}) = -6.744e+001 + 2.671e+001 * \ln(E)$ $-2.801e+000 * \ln(E)^2$
2000ml Marinelli Beaker Type	$\ln(\text{eff}) = -5.916e+002 + 4.779e+002 * \ln(E) - 1.546e+002 * \ln(E)$ $)^2 +$ $2.492e+001 * \ln(E)^3 - 2.002-000 * \ln(E)^4 + 6.414e-002 * \ln(E)$ $)^5$

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 식품(표고버섯) 방사능농도 측정 결과

#### 1. SAMPLE A

본 연구에 사용된 SAMPLE A는 비가림 재배방법을 이용한 경상북도 지역에서 재배된 버섯이다. 총 3.96 kg을 구매하여 건조기를 이용하여 분쇄하기 쉽도록 수분을 제거하였다. 건조된 버섯은 분쇄기를 이용하여 곱게 분쇄하여 450 ml Marinelli beaker에 충전하였다. 충전량은 0.347 kg, 분석량은 2.93 kg 이다. 각각 10,000 sec와 80,000 sec를 측정하였다.

표 2.3.1 SAMPLE A 측정결과

샘플	전처리 방식	counting time(sec)	방사능 농도 (Bq/kg)	
			Cs-134	Cs-137
A	건조법	10,000	ND	0.0638 ± 0.0140
		80,000	ND	0.124 ± 0.018

## 2. SAMPLE B

본 연구에 사용된 SAMPLE B는 비가림 재배방법을 이용한 경기도 지역에서 재배된 버섯이다. 총 4 kg을 구매하여 건조기를 이용하여 분쇄하기 쉽도록 수분을 제거하였다. 건조된 버섯은 분쇄기를 이용하여 곱게 분쇄하여 450 ml Marinelli beaker에 충전하였다. 충전량은 0.358 kg, 분석량은 3.11 kg 이다. 각각 10,000 sec와 80,000 sec를 계측하였다.

표 2.3.2 SAMPLE B 측정결과

샘플	전처리 방식	counting time(sec)	방사능 농도 (Bq/kg)	
			Cs-134	Cs-137
B	건조법	10,000	ND	ND
		80,000	ND	0.0274 ± 0.046



### 3. SAMPLE C

본 연구에 사용된 SAMPLE C는 비가림 재배방법을 이용한 경상북도 지역에서 재배된 버섯이다. 총 4 kg을 구매하여 건조기를 이용하여 분쇄하기 쉽도록 수분을 제거하였다. 건조된 버섯은 분쇄기를 이용하여 곱게 분쇄하여 450 ml Marinelli beaker에 충전하였다. 충전량은 0.328 kg, 분석량은 2.34 kg 이다. 각각 10,000 sec와 80,000 sec를 측정하였다.

표 2.3.3 SAMPLE C 측정결과

샘플	전처리 방식	counting time(sec)	방사능 농도 (Bq/kg)	
			Cs-134	Cs-137
C	건조법	10,000	ND	ND
		80,000	ND	0.0346 ± 0.0556

#### 4. SAMPLE D

본 연구에 사용된 SAMPLE D는 비가림 재배방법을 이용한 충청남도 지역에서 재배된 버섯이다. 총 3.7 kg을 구매하여 건조기를 이용하여 분쇄하기 쉽도록 수분을 제거하였다. 건조된 버섯은 분쇄기를 이용하여 곱게 분쇄하여 450 ml Marinelli beaker에 충전하였다. 충전량은 0.346 kg, 분석량은 2.33 kg 이다. 각각 10,000 sec와 80,000 sec를 측정하였다.

표 2.3.4 SAMPLE D 측정결과

샘플	전처리 방식	counting time(sec)	방사능 농도 (Bq/kg)	
			Cs-134	Cs-137
D	건조법	10,000	ND	ND
		80,000	ND	0.0151 ± 0.010

## 5. SAMPLE E

본 연구에 사용된 SAMPLE E는 비가림 재배방법을 이용한 전라남도 지역에서 재배된 버섯이다. 총 4 kg을 구매하여 건조기를 이용하여 분쇄하기 쉽도록 수분을 제거하였다. 건조된 버섯은 분쇄기를 이용하여 곱게 분쇄하여 450 ml Marinelli beaker에 충전하였다. 충전량은 0.330 kg, 분석량은 2.25 kg 이다. 각각 10,000 sec와 80,000 sec를 측정하였다.

표 2.3.5 SAMPLE E 측정결과

샘플	전처리 방식	counting time(sec)	방사능 농도 (Bq/kg)	
			Cs-134	Cs-137
E	건조법	10,000	ND	0.0341 ± 0.031
		80,000	ND	0.0319 ± 0.033

## 6. SAMPLE F

본 연구에 사용된 SAMPLE F는 비가림 재배방법을 이용한 강원도 지역에서 재배된 버섯이다. 총 4 kg을 구매하여 건조기를 이용하여 분쇄하기 쉽도록 수분을 제거하였다. 건조된 버섯은 분쇄기를 이용하여 곱게 분쇄하여 450 ml Marinelli beaker에 충전하였다. 충전량은 0.199 kg, 분석량은 1.045 kg 이다. 각각 10,000 sec와 80,000 sec를 계측하였다.

표 2.3.6 SAMPLE F 측정결과

샘플	전처리 방식	counting time(sec)	방사능 농도 (Bq/kg)	
			Cs-134	Cs-137
F	건조법	10,000	ND	ND
		80,000	ND	0.0227 ± 0.0215

## 7. SAMPLE G

본 연구에 사용된 SAMPLE G는 비가림 재배방법을 이용한 경상남도 지역에서 재배된 버섯이다. 총 4 kg을 구매하여 건조기를 이용하여 분쇄하기 쉽도록 수분을 제거하였다. 건조된 버섯은 분쇄기를 이용하여 곱게 분쇄하여 450 ml Marinelli beaker에 충전하였다. 충전량은 0.187 kg, 분석량은 1.02 kg 이다. 각각 10,000 sec와 80,000 sec를 측정하였다.

표 2.3.7 SAMPLE G 측정결과

샘플	전처리 방식	counting time(sec)	방사능 농도 (Bq/kg)	
			Cs-134	Cs-137
G	건조법	10,000	ND	0.379 ± 0.061
		80,000	ND	0.374 ± 0.024

## 8. SAMPLE H

본 연구에 사용된 SAMPLE H는 비가림 재배방법을 이용한 충청남도 지역에서 재배된 버섯이다. 총 3.8 kg을 구매하여 건조기를 이용하여 분쇄하기 쉽도록 수분을 제거하였다. 건조된 버섯은 분쇄기를 이용하여 곱게 분쇄하여 450 ml Marinelli beaker에 충전하였다. 충전량은 0.275 kg, 분석량은 1.93 kg 이다. 각각 10,000 sec와 80,000 sec를 측정하였다.

표 2.3.8 SAMPLE H 측정결과

샘플	전처리 방식	counting time(sec)	방사능 농도 (Bq/kg)	
			Cs-134	Cs-137
H	건조법	10,000	ND	ND
		80,000	ND	0.304 ± 0.016

## 제 4 절 섭취량의 대한 선량 평가

### 1. 섭취량에 따른 연간 피폭선량 평가

일반인에 대한 피폭선량 평가를 위한 기본 원칙은 종사자에게 적용되는 원칙과 동일하다. 일반인의 연간 유효선량은 외부피폭으로부터 1년 동안 유효선량과 같은 해에 섭취한 방사성핵종에 의한 예탁유료선량을 합산한 값이다. 일반인 선량은 직무피폭 경우처럼 직접적 측정방법으로는 개인 피폭선량을 얻지는 못하므로 주로 유출물 및 환경 측정, 습관 데이터와 모델링으로 구한다. 방사성유출물의 방출로 인하여 발생하는 선량 성분은 기존 시설에서 유출물을 예측함으로써 평가할 수 있다. 본 연구에서는 방사성물질이 포함된 음식을 섭취함으로써 발생하는 내부피폭을 가정 하여 평가 하였으며, 동일한 방사성 핵종이라도 섭취량에 따라 달라지고, 동일한 양을 섭취하여도 방사성 핵종의 종류에 따라 달라진다.

다음과 같은 식을 이용하여 계산 하였다.

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

섭취경로에 따른 선량환산인자는 ICRP-72와 TECDOC-1162중에서 보수적인 TECDOC-1162 값을 사용 하였고, 식품의 연간섭취량은 버섯의 연간 평균적 섭취량으로 통일하였다. 식품의 방사능 농도는 분석값을 사용하였다.

표 2.3.9 방사성핵종의 선량환산인자

참고기준	방사성핵종	선량환산인자(mSv/Bq)
ICRP-72	Cs-134	2.6E-05
	Cs-137	2.1E-05
TECDOC-1162	Cs-134	1.9E-02
	Cs-137	1.3E-02

표 2.3.9 의 선량환산인자와 식품섭취량 및 본 연구에서의 분석한 방사성핵종의 방사능농도로부터 내부 피폭선량을 평가하여 아래와 같다.

표 2.3.10 SAMPLE A 피폭선량

샘플	counting time(sec)	핵종	총 피폭선량(mSv/yr)
A	10,000	Cs-134	-
		Cs-137	1.51E-02
	80,000	Cs-134	-
		Cs-137	2.94E-02

표 2.3.11 SAMPLE B 피폭선량

샘플	counting time(sec)	핵종	총 피폭선량(mSv/yr)
B	10,000	Cs-134	-
		Cs-137	-
	80,000	Cs-134	-
		Cs-137	6.50E-03

표 2.3.12 SAMPLE C 피폭선량

샘플	counting time(sec)	핵종	총 피폭선량(mSv/yr)
C	10,000	Cs-134	-
		Cs-137	-
	80,000	Cs-134	-
		Cs-137	8.21E-03



표 2.3.13 SAMPLE D 피폭선량

샘플	counting time(sec)	핵종	총 피폭선량(mSv/yr)
D	10,000	Cs-134	-
		Cs-137	-
	80,000	Cs-134	-
		Cs-137	3.08E-03

표 2.3.14 SAMPLE E 피폭선량

샘플	counting time(sec)	핵종	총 피폭선량(mSv/yr)
E	10,000	Cs-134	-
		Cs-137	8.09E-02
	80,000	Cs-134	-
		Cs-137	7.57E-02

표 2.3.15 SAMPLE F 피폭선량

샘플	counting time(sec)	핵종	총 피폭선량(mSv/yr)
F	10,000	Cs-134	-
		Cs-137	-
	80,000	Cs-134	-
		Cs-137	5.39E-03

표 2.3.16 SAMPLE G 피폭선량

샘플	counting time(sec)	핵종	총 피폭선량(mSv/yr)
G	10,000	Cs-134	-
		Cs-137	8.99E-02
	80,000	Cs-134	-
		Cs-137	8.87E-02

표 2.3.17 SAMPLE H 피폭선량

샘플	counting time(sec)	핵종	총 피폭선량(mSv/yr)
H	10,000	Cs-134	-
		Cs-137	-
	80,000	Cs-134	-
		Cs-137	7.21E-02

### 제 3 장 결 론

본 연구에서는 식품(표고버섯)을 채취하여 방사능 분석을 통하여 방사능 농도를 파악 하였으며, 후쿠시마 원자력발전소 사고 이전과 비교하여, 사고의 영향이 있는지 파악해보자 하였다. 또한 검출된 방사능 농도를 통해 인체에 어느 정도의 영향을 미치는지 알아보고자 하였다.

연구는 전국의 8개 지점에서 노지재배를 하고, 비가림 재배 방법을 사용하는 8개의 농장을 선택하여 식품(표고버섯)을 4kg정도 채취하여 적절한 방법(건조법)으로 전처리 하여 각각 10,000 sec, 80,000 sec 측정하였다.

분석 결과 10,000 sec 측정의 경우 Cs-137이 3개의 샘플에서 검출이 되었으며, 농도는 0.0638 Bq/kg ~ 0.379 Bq/kg 이었다. 80,000 sec 측정에서는 8개의 샘플 모두에서 Cs-137이 검출되었으며, 농도는 Cs-137 0.0274 Bq/kg ~ 0.374 Bq/kg 이다. 모든 샘플에서 I-131, Cs-134 검출되지 않았으며, 검출된 Cs-137의 방사능 농도는 국내 식품 중 방사능허용기준인 100 Bq/kg에 비해 0.379% 수준이었고, 한국원자력안전기술원에서 실시한 전국환경방사능조사<sup>1)</sup> 결과와 비슷함을 확인 할 수 있었다. 2007년 한국원자력연구원에서 실시한 식품 중 방사능 오염실태조사에서는 수입산 차가버섯에서 39.40 Bq/kg이 검출되었다. 본 연구에서 검출된 방사능 농도와 기존 보고 자료를 비교해 보면 모든 샘플에서 Cs-134가 불검출 된 점, 후쿠시마 원자력발전소 사고이전과 이후 방사능 농도가 비슷하다는 점에서 국내에는 후쿠시마 원자력 발전소 사고의 영향이 없다고 판단된다. 다만 검출된 Cs-137의 경우 과거 핵발전소 사고(TMI, 체르노빌)과 핵실험의 여파로 판단된다.

본 연구에서 검출된 방사능 농도를 근거로 식품(표고버섯)을 1년간 섭취하였을 경우 유효선량은  $3.08E-02$  mSv/yr ~  $8.99 E-02$  mSv/yr으로 원자력안전법 시행령 제 2조제4호의 일반인 섭취한도 1.0 mSv/yr에 비해 매우 낮아 인체에 영향은 거의 없는 것으로 판단된다.

현재는 2011년 후쿠시마 원자력발전소 사고 이후 국내 식품(표고버섯)에 대한 방사능 영향은 없다고 판단이 되나, 현재도 해수, 지하수를 통해 방사능 오염수 유출이 계

1) 한국원자력안전기술원 전국환경방사능조사 결과(2010~2012)

2010년 - 기본식품 쌀 0.00901 Bq/kg-fresh, 배추 0.0146 Bq/kg-fresh

2011년 - 기본식품 쌀 0.0227 Bq/kg-fresh, 배추 0.0369 Bq/kg-fresh

2012년 - 기본식품 쌀 0.0106 Bq/kg-fresh, 배추 0.0272 Bq/kg-fres

속되고 있고, 언제 사고가 추가로 일어날지도 모르는 상황이므로 다양한 각도에서 환경방사능과 식품에 대한 방사능 오염에 대하여 검사 및 관리가 필요하다.

## 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] 주민피폭선량 평가지침(한국원자력안전기술원 1999)
- [4] 방사능 측정 시 Minimum Detectable Activity(한국원자력연구원 2010)
- [5] 식품 중 방사능 분석 SOP(식품의약품안전청 2006)
- [6] 감마핵종 분석 기술(한국원자력연구원 지영용 2012)
- [7] 식품의 사고 시 방사능에 대한 국제 권고 비교(한국원자력연구원 정근호 2012)
- [8] 식품 중 자연방사성핵종의 방사능 농도와 내부피폭선량 평가(경북대학교 최민석 2009)
- [9] 원자력안법 시행령(2013.08.16)
- [10] 2012년도 식품의약품통계연보 제 14호(식품의약품안전청 2012)
- [11] 식품공전(식품의약품안전청 2013)
- [12] 식품 중 방사능 분석법 확립 및 오염실태 조사(KAERI/CR-314/2008)
- [13] 전국환경방사능조사(KINS/ER-028,Vol.44)
- [14] 발전소 주변 주민선량 계산지침서(KEPCO&KHNP/2003)