



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](#)

공학석사학위논문

수입 농수산물과 가공식품에 대한  
방사능 오염 모니터링 및  
위해성 평가



2023년 8월

부경대학교 글로벌수산대학원

식품산업공학과

송보명

공학석사학위논문

수입 농수산물과 가공식품에 대한  
방사능 오염 모니터링 및  
위해성 평가

지도교수 조 승 목

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함.

2023년 8월

부경대학교 글로벌수산대학원

식품산업공학과

송보명

송보명의 공학석사 학위논문을 인준함.

2023년 8월 18일



주 심 약학박사

김 영 목



위 원 공학박사

심 길 보



위 원 농학박사

조 승 목



# 목 차

List of Tables .....	iii
List of Figures .....	v
Abstract.....	vii
I. 서론.....	1
II. 재료 및 방법.....	14
1. 재료 .....	14
2. 실험 방법.....	16
2.1. 방사능 측정장비.....	16
2.2. 전처리.....	17
2.3. 방사능 분석 .....	17
2.4. 유효선량 평가 및 위해도 평가.....	18
III. 결과 및 고찰.....	20
1. 수입 농수산물과 가공식품에서의 방사능 오염 모니터링 결과.....	20
2. 수입 농수산물과 가공식품에서의 방사능 검출량 분석 .....	26
3. 수입 농수산물과 가공식품에서의 방사능 오염 위해평가.....	29
3.1. 연령별 세습( $^{137}\text{Cs}$ )오염식품 섭취시 연간 유효선량 .....	31
3.2. 국민전체 세습( $^{137}\text{Cs}$ )오염식품 섭취시 연간 평균 유효선량.....	37
IV. 요약.....	39

V. 참고문헌 ..... 42



## List of Tables

Table 1.	Korea Food Standard code for radioactive contaminants in foods ...	6
Table 2.	CODEX Standard code for radioactive contaminants in foods.....	7
Table 3.	Japan Standard code for radioactive contaminants in foods .....	8
Table 4.	Classification of samples used in this study according to imported origin and food categories .....	11
Table 5.	Radiation dose limits on radioactive releases according to the Regulation of Nuclear Safety Act .....	14
Table 6.	Levels of radioactive contaminants in imported agro-fishery products and processed foods .....	17
Table 7.	Summary of Lists and its levels of imported agro-fishery products and processed foods contaminated by radioactive contaminants ...	21
Table 8.	Maximum and average levels of $^{137}\text{Cs}$ detected in this study according to imported origin and food categories .....	24
Table 9.	National average and age-specific intake of agro-fishery products and processed foods contaminated radioactive contaminants among the samples analyzed in this study .....	26

Table 10.	Calculation of the dose caused by internal radiation justified by IAEA .....	28
Table 11.	The radiation weighting factor to neutrons.....	28
Table 12.	The radiation weighting factor to tissues or organs .....	29
Table 13.	Risk assessment of agro-fishery products and processed foods contaminated by $^{137}\text{Cs}$ based on average annual intake dose and age group.....	32
Table 14.	Risk assessment of agro-fishery products and processed foods contaminated by $^{137}\text{Cs}$ based on maximum annual intake dose and age group.....	33
Table 15.	Risk assessment of agro-fishery -fishery products and processed food contaminated by $^{137}\text{Cs}$ compared with ICRP regulation .....	34

## List of Figures

- Fig. 1. Penetrating power of different types of radiation..... 2



Monitoring and risk assessment of radioactive contaminants in imported  
agro–fishery products and processed food



Abstract

The 2011 nuclear power plant accident in Japan, at the Fukushima facility, resulted in the release of numerous artificial radionuclides. Therefore, neighboring countries have had to confront the consequences of radioactive

contamination, leading to a ban on imported food from Japan due to concerns over potential contamination. Accordingly, standards code for radioactive contaminants was established, and annual monitoring of radioactive contamination was conducted. To address these public concerns, the Ministry of Food and Drug Safety is responsible for the radioactive safety management of imported food and imported marine products in accordance with the Framework Act on Food Hygiene and Food Safety. Efforts are being made to strengthen quarantine and inspection of Japanese food and to ensure public safety and food safety through information disclosure. However, there is a lack of information about the extent of harm caused by its consumption.

In this study, imported agro-fishery products and processed food from the 2021-2022 period were monitored for radioactive contaminants. A risk assessment was subsequently conducted on the effect of this radioactivity on the human body. Also, I evaluated it in comparison to the annual public 1 mSv recommended by the ICRP for risk assessment.

Samples used for the analysis of radioactive contamination were selected from items that are suspected to be detected in national and major food products. The selected samples were pretreated using the direct method in

the 'Korean Food Code' and then measured using HPGe for 10,000 seconds to carry out radioactive contamination inspections.

A total of 7,437 samples monitoring results showed that  $^{131}\text{I}$  and  $^{134}\text{Cs}$  were below the minimum detectable activity (MDA), while there were 81 cases of  $^{137}\text{Cs}$  contamination. The levels of *Sarcodon imbricatus* were 1-7 Bq/kg, *Inonotus obliquus* 2-32 Bq/kg in agricultural products, and *Isrus oxyrinchus* in fishery products 1 Bq/kg. In processed foods, blueberry jam 1–52 Bq/kg, cheese 2 Bq/kg and coffee beans 1 Bq/kg.

The radiation exposure assessment was conducted using data from radiation detection monitoring, and the 「2020 National Nutrition Statistics」, and dose equivalent conversion coefficients suggested by the International Commission on Radiological Protection (ICRP) were applied to convert the radiation unit into effective dose. The result of risk assessment on the intake of radioactive contaminated agro-fishery products and processed food, the highest in the age group is 19-29 (0.082% and 0.170%), and the lowest in the age groups of 6-11 (0.032%) and 1-2 (0.066%).

In conclusion, the monitoring and risk assessment of radioactive contaminants in imported agro-fishery products and processed food

demonstrated their safety, as they did not exceed the annual limit of artificial radiation dose for public people. Periodic monitoring is needed to reduce anxiety and ensure food safety with the discharge of waste water from Fukushima set to take place in 2023. In addition, accurate evaluation of the effects of radioactivity detection in food on the human body is expected to ensure the delivery of correct information.



# I. 서론

방사선은 물질 투과, 생물학적 작용 능력 및 고유 에너지와 같은 기본 특성들을 이용하여 다양한 기술을 실현 가능하게 하였으며, 지금까지도 다양한 곳에서 많이 사용되고 있다(한국원자력안전기술원, 2009).

물질을 구성하는 원자핵이 불안정하게 되면 스스로 안정한 상태로 가려고 하는 성질이 있는데 불안정한 원자핵이 안정한 상태로 붕괴하게 되는데, 이때 내놓는  $\alpha$  (알파)선,  $\beta$  (베타)선,  $\gamma$  (감마)선, X선, 중성자를 ‘방사선’이라 한다. 방사선을 방출하는 능력을 일컬어 ‘방사능’이라고 하며, 이 능력을 가진 물질을 ‘방사성 물질’이라 말한다. 이 방사성 물질의 방사능 세기를 나타내는 단위는 베크렐(becquerel, Bq)이며, 1 Bq은 방사성 물질이 1초간 1번 붕괴하는 것을 말한다.

$\alpha$  선은  $\alpha$  입자를 방출하면서 원자번호 2, 질량수가 4만큼 감소하는  $\alpha$  붕괴와 함께 방출되는  $\alpha$  입자의 흐름이다.  $\alpha$  입자는 비교적 무거워서 투과력이 매우 약하여 종이 한 장으로도 쉽게 막을 수 있다. 그렇기에, 인체의 피부를 관통하지는 못하지만, 이에 노출되면 쪼이면 심각한 피부 손상을 일으킬 수 있다.

$\beta$  선은 원자핵의 중성자가 양성자로 변하면서 전자를 방출하면서 방출되는 방사선이다. 빠른 속력으로 움직이는 전자로 이루어져 있으며, 이 입자

를  $\beta$  입자라고한다.  $\beta$  선의 최대 에너지는 약 0.2 MeV 정도이다.  $\beta$  입자는 전기를 띤 입자로, 물질 속에서 정전기력을 받기에 투과력이 강하지는 않으며, 얇은 금속판으로 막을 수 있다.

$\gamma$  선은 많은 에너지를 가진 원자핵이 불안정한 상태에서 안정한 상태로 가는 과정에서 방출된다.  $\alpha$  붕괴,  $\beta$  붕괴와 달리 핵을 이루는 소립자의 구성에는 변화가 없어 핵의 종류나 원자번호, 질량수는 변하지 않는다. 파장이 짧은 전자파로 가장 투과력이 강하여서 콘크리트나 두꺼운 납으로 막을 수 있으며, 인체 피부손상은 가장 적게 준다. Figure 1에는  $\alpha$  (알파) 선,  $\beta$  (베타) 선,  $\gamma$  (감마) 선의 투과력을 나타내었다. (김도성, 1998; 옥치일, 2000)

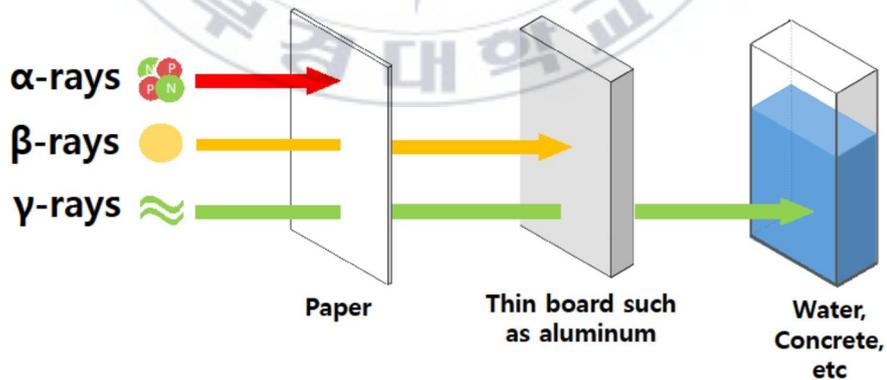


Figure 1. Penetrating power of different types of radiation.

방사선은 지구의 생성과 함께 발생하여 대기, 수질, 토양 등 모든 환경 중에 존재하고 있으며, 지각 기원 천연방사성 핵종(terrestrial NORM)과 우주 기원 천연방사성 핵종(cosmogenic NORM)으로 구분할 수 있다. 이러한 천연방사성 핵종은 반감기가 길지만 붕괴를 통해 나오는 방사선의 에너지가 매우 작아 검출하기는 어렵다. 우주선 기원 천연방사성 핵종은 고에너지를 가진 우주선이 지구의 외각으로부터 대기권으로 입사해 들어온 1차 우주선이 되고, 다시 대기 중의 물질과 작용하여 생긴 2차 우주선이 생성됨으로서 방사성 핵종이 만들어진다.

인공방사성 핵종은 인간이 필요로 인해 인위적으로 핵반응뿐만 아니라 핵폭발 실험이나 원자력 시설의 가동에 의해서 생성된다. 현재에 대부분 존재하는 인공방사성 핵종은 1950년대 후반과 1960년대 초에 걸쳐 실시된 대기권 핵폭발실험, 1986년 체르노빌 원전사고, 2011년 후쿠시마 원전사고 등에 의해 확산, 침적, 수송, 강수와 함께 지표에 침적하게 되었다.

인공방사성 핵종에는 방사성 요오드( $^{131}\text{I}$ )가 있다. 이는 핵분열반응에 의해 생성되는 대표적인 핵종이다. 요오드( $^{131}\text{I}$ )는 비등점이  $184\text{ }^{\circ}\text{C}$ 로 비교적 낮으며, 할로젠 원소로서 고체상태에서 기체상태로 쉽게 변화한다. 요오드( $^{131}\text{I}$ )는 체내에서 갑상선에 모이게 되는데, 이는 갑상선암을 유발할 수 있다. 체내에 들어온 요오드( $^{131}\text{I}$ )의 반감기는 8일로 다른 핵종에 비해 짧은 편이지만, 이 기간 동안 희석되어 체내에 존재하게 되는데, 갑상선에

축적되거나 희석되어 체외로 배설된다(ICRP, 1997). 그리고 방사성 세슘( $^{134}\text{Cs}+^{137}\text{Cs}$ )이 있다.  $^{134}\text{Cs}$  는 반감기가 약 26 년,  $^{137}\text{Cs}$  은 반감기가 약 30 년이다.  $^{137}\text{Cs}$  이 체내에 들어오게 되면, 생물학적 반감기는 110 일 정도로, 칼륨(K)와 비슷한 거동을 하면서 인체 근육과 연조직에 침착하게 되면서 신체 조직에 고르게 분포하게 된다. 약 80%가 근육, 약 8%가 뼈에 침적되어 암을 유발할 수 있다 (ICRP, 1997; 유동한 & 이한수, 2003)

원자력 이용시설의 사고나 핵무기 실험 등에 의해 인공방사능이 전세계적으로 존재하게 되었다. 대기 중으로 방출된 방사성 물질은 기류를 타고 확산되어 침적되거나, 강수와 함께 지표에 침적하게 된다(박환배 등, 2016). 이러한 방사선에 의해 인류는 방사선 피폭을 수반하게 된다(한국원자력안전기술원, 2009). 어떤 물체가 방사선에 노출되어 에너지를 흡수하는 현상을 ‘방사선 피폭’이라 한다. 오염된 대기, 지표에서 자란 식물체의 뿌리를 통해 흡수되며 가식부로 옮겨진 뒤, 이를 섭취한 가축 또는 가축의 우유 등을 인간이 섭취하거나, 오염된 식물체를 직접 섭취하게 되면 방사능에 간접 노출되게 된다. 또한, 오염된 해양에서 자란 수산물을 섭취하면서 노출되기도 하는 반면, 오염된 환경으로 피부를 통한 노출, 호흡, 섭식 등을 통하여 직간접으로 방사능에 오염될 수 있다 (유동한 & 이한수, 2003) 방출된 인공방사성 핵종들은 낙진, 강수 등 여러

통로를 통하여 환경에 유입되었으며, 이를 섭취한 동식물들은 체내에 축적된 후, 식품으로 섭취한 인류에게도 중요한 방사선 피폭 경로가 되었다(IAEA, 2006).

인체의 방사선 피폭은 피폭원의 위치에 따라 2 가지로 구분된다. 방사선 물질이나 X - 선 발생장치로부터 방사선을 인체 밖에서 받을 시에는 외부 피폭이라 하며, 외부로부터 방사선을 받는 동안만으로 한정된다. 예를 들어, 의료기기에 의한 방사선 피폭이 있다. 음식물 섭취나 호흡 등 내부로 받는 피폭을 내부피폭이라 하며, 방사성 물질이 체내에 존재하는 한 계속 영향을 미치게 한다. 방사선 피폭으로 인해서 인체에 미치는 영향을 나타내는 척도는 조사선량(exposure dose), 흡수선량(absorbed dose), 등가선량(equivalent dose), 유효선량(effective dose)이 있다. 이 본 연구에서는 인체의 여러 조직이 방사선에 노출되었을 때를 조직별 위험도를 반영하여 생물학적 영향을 평가하는 유효선량을 사용한다.

방사능 오염된 식품의 유통을 방지하기 위하여 유럽을 포함하여 미국, 일본 등 세계 각국의 식품규제기관에서는 수출입식품에 대한 오염 규제가 강화되었고, 방사능 오염실태 모니터링을 매년 작성하며 체계적으로 관리하고 있으며 자국의 설정에 맞게 방사능 규제기준을 마련하여 운영하고 있다(IAEA, 1982).

국내 유통 식품의 경우 생산단계와 유통단계의 식품을 나누어 검사하고 있다. 생산단계에서는 각각 농산물의 농림축산식품부, 축산물은 식품의약품안전처와 지자체, 수산물은 해양수산부에서 검사를 진행하고 있으며, 식품은 각 지자체와 식품의약품안전처가 검사를 진행하고 있다. 방사능 오염검사는 기본적으로 원전사고로 가장 많이 발생하는  $\gamma$  핵종인 세슘( $^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}$ )과 요오드( $^{131}\text{I}$ ) 두 가지 항목에 대해서 시행하고 있다. 2019년 4월 26일 식품의 기준 및 규격이 개정되면서 방사능 관리대상 식품의 기준이 개정되었으며(식품의약품안전처, 2019) Table 1에 나타내었다.  $^{131}\text{I}$ 는 모든 식품에 대해 100 Bq/kg 이하,  $^{134}\text{Cs}$ 과  $^{137}\text{Cs}$ 은 영유아식 관련 제품 50 Bq/kg, 영유아식 관련 제품이 아닌 기타제품은 100 Bq/kg의 기준으로 관리되고 있다. 검사를 통해서 방사능이 검출된 품목은 스트론튬( $^{90}\text{Sr}$ )과 플루토늄( $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ) 추가 검사를 실시하고, 기준은 국제식품규격위원회(CODEX)의 기준을 따르고 있다.

Table 1. Korea Food Standard code for radioactive contaminants in food

Type of Nuclide	Target food	Standards (Bq/kg, L)
$^{131}\text{I}$	All foods	Not more than 100
$^{134}\text{Cs}$ , $^{137}\text{Cs}$	Infant food, Follow-up foods, Cereal foods For infants and young children	Not more than 50
	Other foods for special purposes for infants And young children, milk and milk products, ice cream	
	Other foods*	Not more than 100

국제식품규격위원회(CODEX)의 식품 방사능 기준치는 Table 2 에 나타내었다. CODEX 는 요오드( $^{131}\text{I}$ )와 세슘( $^{134}\text{Cs}+^{137}\text{Cs}$ )에서 영유아식 식품과 영유아식 식품을 제외한 모든 식품에서의 기준치는 같았다. 다만, 요오드( $^{131}\text{I}$ )는 100 Bq/kg, 세슘( $^{134}\text{Cs}+^{137}\text{Cs}$ )은 1,000 Bq/kg 으로 관리하고 있다(CODEX, 1955).

Table 2. CODEX Standard code for radioactive contaminants in food

Food type	Type of Nuclide e	Index (Bq/kg)
Derived Intervention Levels (DILs) for Domestic and imported foods	$^{131}\text{I}$	170
	$^{134}\text{Cs}, ^{137}\text{Cs}$	1200
	$^{90}\text{Sr}$	160
	$^{238}\text{Pu}, ^{239}\text{Pu}, ^{240}\text{Pu}$	2

일본의 경우 식품에 관하여 음용수, 우유, 유아용 식품, 일반식품 총 4 가지로 분류하고 있다. 일반식품에 대해서 세슘( $^{134}\text{Cs}+^{137}\text{Cs}$ )을 100 Bq/kg 의 기준으로 관리하고 있다. 그리고, 음용수 10 Bq/kg, 우유·영유아 식품을 50 Bq/kg 으로 설정하고 있지만, 요오드( $^{131}\text{I}$ )에 대한 별도의 기준은 설정하지 않고 있다. 아래 Table 3 에 나타내었다.

Table 3. Japan Standard code for radioactive contaminants in food

Food type	Type of Nuclide	Index (Bq/kg)
Common food products		100
Milks	$^{134}\text{Cs}+^{137}\text{Cs}$	50
Infant food		50
Beverage		10

국외에 비해 방사능 오염식품 기준을 다른 나라에 비해 엄격하게 잡고 있지만, 여전히 미량으로 검출되는 수입식품이 국내에 유통되는 상황이다. 대표적으로 버섯류와 베리류, 이를 이용한 가공식품에서 상대적으로 반감기가 긴  $^{137}\text{Cs}$ 에 오염된 식품이 유통되는 사례를 많이 발견할 수 있다.

버섯은 다양한 효능이 알려져 오래전부터 한방 및 민간생약으로 사용되었으며, 질병의 예방 및 치료에 효과가 있는 것으로 보고되면서 의약품 및 건강식품의 용도도 크게 증가하였다(Baek et al., 2012). 이 중 차가버섯은 러시아, 한국, 동유럽 등 자작나무 등에 자생하는 버섯으로 항산화, 항염증 효과나 면역 활성 증진 등 다양한 효과를 갖는 것으로 확인되었다(Alexander et al., 2014). 하지만 2003년부터 2005년 사이에 진행 된 국내 식품 방사능 조사사업의 결과에서 러시아산 차가버섯은  $^{137}\text{Cs}$ 이 6.75 - 800 Bq/kg의 범위를 나타내며 검출되었다고 보고하고 있다(한국원자력연구원, 2005). 또한, 폐놀성 화합물인

안토시아닌이 풍부하여 항산화효과가 뛰어나며, 질병예방에 긍정적인 효과를 보여주는 장과류를 이용하여 가공제품에서 연구가 활발히 진행되고 있으며, 국내에서도 소비가 늘고 있는 식품이다(정창호 등, 2008). 그러나, 2017년 프랑스에서 수입한 블루베리 퓨레 등 장과류 가공식품에서  $^{137}\text{Cs}$ 이 123 - 203 Bq/kg으로 국내 기준을 초과하여 검출된 사례가 있으며(식품의약품안전처, 2018), 국외의 시장에서도 쉽게 구할 수 있는 장과류 가공식품에서도 최대 162 Bq/kg이 검출되고 있다(Chiara et al., 2021).

따라서 본 연구에서는 2023년부터 시작될 후쿠시마 오염수 방류를 앞두고, 국민의 불안감이 증가됨에 따라 2021년부터 2022년까지 수입되어 국내 유통된 식품들에 대하여 방사능 오염 모니터링을 실시하였다. 검출된 방사능에 대하여 인체에 미치는 값인 위해도평가를 실시하였으며, 이 결과를 국제방사선방호위원회(The International Commission on Radiological Protection, ICRP)에서 권고하는 일반인 기준 연간 유효선량 1 mSv와 비교하여 안정성을 평가하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 재료

식품 중 방사능 분석을 위해 사용한 시료는 국민영양통계자료 (한국보건산업진흥원, 2020)를 토대로하여 2021년부터 2022년까지 수입되어 유통되고 있는 식품 중 국민 다소비식품, 주요식품 중 검출이 우려되는 품목 등 10개 품목으로 선정하였다. 이 10개의 품목은 식품군에 따라 먼저 농산물, 수산물 및 가공식품으로 분류하였으며, 식품유형 및 식품명으로 분류하였다. 분류된 식품명을 원산지에 따라 분류한 뒤, 본 연구에 사용된 시료를 Table 4에 나타내었다.

농산물에서는 버섯류의 능이버섯과 차가버섯을 71건으로 중국과 러시아에서 수입되었다. 수산물 중 어류에서는 방어, 홍어, 명태, 참돔 그리고 청상아리를 포함하여 7,109건으로 시료 중 가장 많은 양을 차지하였다. 이 중 홍어 1건은 우루과이, 명태 5건은 중국을 제외하고 대부분의 수산물은 일본에서 수입되었다. 가공식품에서는 치즈 110건, 커피원두 112건, 과일잼 35건을 포함하여 모니터링을 진행하였다.

Table 4. Classification of samples used in this study according to imported origin and food categories

Food category	Classification	Product	Country of origin	Analysis status				
Agricultural food	Mushroom	Sarcodon imbricatus	China	60	71			
		Inonotus obliquus	Russia	11				
		Seriola quinqueradiata	Japan	1315	1315			
		Okamejei kenojei	Japan	684	685			
			Uruguay	1				
Seafood	Fishes	Theragra chalcogramma	Japan	3106	3111			
			China	5				
		Pagrus major	Japan	1974	1974			
		Isurus oxyrinchus	Taiwan	23	24			
			Namibia	1				
		Milks	Cheese	U.S.A	49	110		
				Australia	15			
Germany	10							
New Zealand	9							
Denmark	9							
Lithuania	7							
Japan	7							
Neterlands	4							
Processed Food	Coffees			Cooffee bean	Brazil		25	112
					Ehiopia		22	
		Colmbia	21					
		Guatemala	21					
		Cuba	5					
		Maxico	5					
		Indonesia	4					
		Vietnam	3					
		Peru	3					
		Bolivia	1					
		El Salvador	1					
		U.S.A	1					

		Belguim	8	
		Sweden	6	
		U.S.A	7	
Sugars	Fruit jam	Russia	5	35
		Spain	4	
		Netherlands	3	
		Norway	1	
		Italy	1	
Total				7,437

## 2. 실험방법

### 2.1. 방사능 측정장비

ORTEC사의 고순도 게르마늄 검출기(High Purity Germanium Detector, HPGe)를 이용하였다. 반도체 검출기의 특성인 전리작용을 이용한 검출기로서  $\gamma$  핵종 분석에 많이 사용되는 검출기이다. 많은 방사성 동위원소들은 고유한 에너지의 감마선을 방출하는데, 이 때, 방출하는 에너지를 측정하게 되면 방사성 동위원소의 핵종을 분별할 수 있으며, 세기를 분석할 수 있다.

고순도 게르마늄 검출기(HPGe)는 검출장치, 고전압 공급장치(High Voltage Supply), 증폭기(전치증폭기, 주 증폭기), 아날로그-디지털 신호변환기(ADC), 다중과고분석기(MCA) 컴퓨터 및 주변기기로 구성되어 있다. 그리고 감마분석소프트웨어(GammaVision, ORTEC Inc.)를 이용하여 스펙트럼을 분석한다.

## 2.2. 전처리

정확한 방사능 계측을 위해 전처리를 실시하였다. 식품의약품안전처의 식품공전 제 8. 일반시험법 9.9 방사능을 따르면 식품 방사능검사를 위해서는 직접법, 건조법, 회화법 3가지의 방법이 있으며, 본 연구에서는 식품의 부패 방지 및 빠른 분석을 위하여 직접법을 이용한다.

직접법은 검사하는 식품의 비가식부 제거가 필요한 경우에는 채소류의 뿌리나 어패류의 뼈, 껍질 등을 제거한 후, 세척한 경우에는 물기를 제거하고, 가식부만 이용한다. 이 때 큰 덩어리나 조각의 시료(생선, 버섯 등)는 파쇄한 후 식품분쇄기(Robot Coupe)로 분쇄하고, 분말이나 액체인 식품은 상면이 수평이 되도록 하여 측정하고자 하는 1 L 마리넬리 비커(Marinelli Beaker) 용기에 충전하여 무게를 측정한다.

## 2.3. 방사능 분석

식품공전의 제 8. 일반시험법 9.9.2 고순도 게르마늄 감마핵종분석기에 의한 시험법에 따라 시료 분석을 실시하였다(식품의약품안전처, 2020). 방사능 분석은 신속 정확한 분석을 위해 공전에서 허용하는 최소 측정시간인 10,000 초 측정하였다.

## 2.4. 유효선량 평가 및 위험도 평가

유효선량을 평가하기 위하여 사용된 식품의 섭취량은 국민영양통계자료 (한국보건산업진흥원, 2020) 다소비 식품 1인 1일 평균 섭취량과 식품별 섭취량을 참고하였다. 방사능 오염식품에 대해 연령별 및 연령에 관계없이 국민 전체가 받을 수 있는 유효선량을 평가하였으며, 이를 ICRP 에서 권고하는 일반인 연간 인공방사선량 한도인 1 mSv (Table 5)와 비교하여 위험도를 평가하였다. 위험도는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\text{위험도}(\%) = \frac{\text{검출된 핵종이 포함된 식품별 유효선량}(Sv/year)}{\text{연간 일반인 유효선량}(Sv/year)} \times 100$$

Table 5. Radiation dose limits on radioactive releases according to the Regulation of Nuclear Safety Act

Classification	Radiation workers	Person with frequent access and person engaging in transport	Public
Effective Dose Limit	100 mSv for five years within the scope not exceeding 50 mSv per annum	12 mSv per annum	1 mSv per annum
Equivalent Dose Limit	Crystalline	150 mSv per annum	15 mSv per annum
	Hands, Feet and skin	500 mSv per annum	50 mSv per annum

### Ⅲ. 결과 및 고찰

#### 1. 수입 농수산물과 가공식품에서의 방사능 오염 모니터링 결과

2021년부터 2022년까지 수입되어 유통되는 농산물(능이버섯, 차가버섯), 수산물(명태, 방어, 참돔, 청상아리, 홍어), 가공식품(치즈, 커피, 잼)으로 총 7,437건에 중점적으로 방사능 모니터링을 실시하여 요오드( $^{131}\text{I}$ )와 세슘( $^{134}\text{Cs}+^{137}\text{Cs}$ )을 분석하였고, 모니터링 결과를 Table 6에 나타냈고, 이 값을 요약하여 Table 7에 나타내었다.

요오드( $^{131}\text{I}$ )와 세슘( $^{134}\text{Cs}+^{137}\text{Cs}$ )을 분석한 결과를 검출된 농도 또는 최소검출가능농도(minimum detectable activity, MDA)로 표기하였다.

$$\text{MDA} = \frac{2.71 + 4.65 \sqrt{\gamma_B + t_b}}{t_b \times \epsilon_E \times m(V)}$$

$\gamma_B$  : 기저 방사능의 계수율 ( $s^{-1}$ )

$t_b$  : 기저 방사능의 측정시간 (s)

$\epsilon_E$  : 측정 효율

$m(V)$  : 측정 시료의 질량(부피)

고순도 게르마늄 검출기를 이용하더라도 측정된 시료의 방사능 결과값이 너무 작을 경우에는 백그라운드와 구분할 수 없게 된다. 측정된

스펙트럼에서 얻은 계수가 백그라운드와 구분될 수 있는 한계를 검출한계치(low limit of detection, LLD)라 부른다. 여기에 시료량, 측정시간, 효율 등을 고려하여 방사능 값을 환산하는데 이를 최소검출가능 농도라고 부른다.

모든 식품에 대하여 요오드( $^{131}\text{I}$ )와 세슘( $^{137}\text{Cs}$ )은 MDA 미만으로 검출되었다. 이는 짧은 반감기를 가진 요오드( $^{131}\text{I}$ )와 세슘( $^{134}\text{Cs}$ )은 검출되지 않은 것으로 사료된다. 그에 비해 상대적으로 반감기가 긴 세슘( $^{137}\text{Cs}$ )은 81건이 검출되었다.

수산물 중 청상아리에서 4건이 검출되었고, 검출된 값의 1 Bq/kg이다. 농산물에서는 능이버섯과 차가버섯의 경우 모니터링을 실시한 검사 건수의 80% 이상 검출되었다. 가장 많이 검출된 능이버섯은 54건으로 1 - 7 Bq/kg의 범위로 검출되었고, 차가버섯은 8건으로 2 - 32 Bq/kg의 범위로 검출되었다. 이와 같이 버섯이 꾸준히 검출되는 이유는 버섯이 방사성 세슘을 포함하는 무기 영양물질을 농축하는 특성을 가지고 있기 때문이다(한국해양과학기술원, 2015). 체르노빌 원자력발전소 사고 이전에도 야생버섯의 경우 높은 농도로 검출되었으며, 이는 지역, 토양, 기후의 영향도 있지만, 무엇보다 버섯의 품종의 영향을 많이 받는다고 한다(Heinrich, 1992; Hille et al., 2000)

가공식품에서는 블루베리를 포함한 과일잼이 11 건으로 1 - 52 Bq/kg 이 검출되었다. 베리류의 경우 유럽에서 많이 수입되어지고 있는데, 체르노빌 원자력발전소 사고로 오염된 산림환경에서 채취된 버섯, 베리 등에서 높은 방사능 농도가 발견되고 있는 만큼 꾸준히 검출되고 있는 항목이다(한국해양과학기술원, 2015; Berefordas, 2016) 치즈의 경우 3 건으로 2 Bq/kg, 커피원두는 1 건이 1 Bq/kg 이 검출되었다.

Table 6. Levels of radioactive contaminants in imported agro-fishery products and processed foods

Number	Sample	Country of origin	Detection Value (Bq/kg)		
			<sup>131</sup> I	<sup>134</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs
1	<i>Sarcodon imbricatus</i> (2021-1)	China	<MDA	<MDA	2
2	<i>Sarcodon imbricatus</i> (2021-2)	China	<MDA	<MDA	1
3	<i>Sarcodon imbricatus</i> (2021-3)	China	<MDA	<MDA	2
4	<i>Sarcodon imbricatus</i> (2021-4)	China	<MDA	<MDA	3
5	<i>Sarcodon imbricatus</i> (2021-5)	China	<MDA	<MDA	3
6	<i>Sarcodon imbricatus</i> (2021-6)	China	<MDA	<MDA	1
7	<i>Sarcodon imbricatus</i> (2021-7)	China	<MDA	<MDA	4
8	<i>Sarcodon imbricatus</i> (2021-8)	China	<MDA	<MDA	1
9	<i>Sarcodon imbricatus</i> (2021-9)	China	<MDA	<MDA	4
10	<i>Sarcodon imbricatus</i> (2021-10)	China	<MDA	<MDA	1
11	<i>Sarcodon imbricatus</i> (2021-11)	China	<MDA	<MDA	3
12	<i>Sarcodon imbricatus</i> (2021-12)	China	<MDA	<MDA	1

Table 6. continued

Number	Sample	Country of origin	Detection Value (Bq/kg)		
			$^{131}\text{I}$	$^{134}\text{Cs}$	$^{137}\text{Cs}$
13	<i>Sarcodon imbricatus</i> (2021-13)	China	<MDA	<MDA	1
14	<i>Sarcodon imbricatus</i> (2021-14)	China	<MDA	<MDA	1
15	<i>Sarcodon imbricatus</i> (2021-15)	China	<MDA	<MDA	1
16	<i>Sarcodon imbricatus</i> (2021-16)	China	<MDA	<MDA	2
17	<i>Sarcodon imbricatus</i> (2021-17)	China	<MDA	<MDA	2
18	<i>Sarcodon imbricatus</i> (2021-18)	China	<MDA	<MDA	2
19	<i>Sarcodon imbricatus</i> (2021-19)	China	<MDA	<MDA	3
20	<i>Sarcodon imbricatus</i> (2021-20)	China	<MDA	<MDA	2
21	<i>Sarcodon imbricatus</i> (2021-21)	China	<MDA	<MDA	1
22	<i>Sarcodon imbricatus</i> (2021-22)	China	<MDA	<MDA	7
23	<i>Sarcodon imbricatus</i> (2021-23)	China	<MDA	<MDA	4
24	<i>Sarcodon imbricatus</i> (2021-24)	China	<MDA	<MDA	1
25	<i>Sarcodon imbricatus</i> (2021-25)	China	<MDA	<MDA	2
26	<i>Sarcodon imbricatus</i> (2021-26)	China	<MDA	<MDA	2
27	<i>Sarcodon imbricatus</i> (2021-27)	China	<MDA	<MDA	2
28	<i>Sarcodon imbricatus</i> (2021-28)	China	<MDA	<MDA	3
29	<i>Sarcodon imbricatus</i> (2021-29)	China	<MDA	<MDA	2
30	<i>Sarcodon imbricatus</i> (2021-30)	China	<MDA	<MDA	4
31	<i>Sarcodon imbricatus</i> (2021-31)	China	<MDA	<MDA	2
32	<i>Sarcodon imbricatus</i> (2021-32)	China	<MDA	<MDA	2
33	<i>Sarcodon imbricatus</i> (2022-1)	China	<MDA	<MDA	4
34	<i>Sarcodon imbricatus</i> (2022-2)	China	<MDA	<MDA	1
35	<i>Sarcodon imbricatus</i> (2022-3)	China	<MDA	<MDA	3
36	<i>Sarcodon imbricatus</i> (2022-4)	China	<MDA	<MDA	3
37	<i>Sarcodon imbricatus</i> (2022-5)	China	<MDA	<MDA	1

Table 6. continued

Number	Sample	Country of origin	Detection Value (Bq/kg)		
			$^{131}\text{I}$	$^{134}\text{Cs}$	$^{137}\text{Cs}$
38	<i>Sarcodon imbricatus</i> (2022-6)	China	<MDA	<MDA	1
39	<i>Sarcodon imbricatus</i> (2022-7)	China	<MDA	<MDA	2
40	<i>Sarcodon imbricatus</i> (2022-8)	China	<MDA	<MDA	1
41	<i>Sarcodon imbricatus</i> (2022-9)	China	<MDA	<MDA	2
42	<i>Sarcodon imbricatus</i> (2022-10)	China	<MDA	<MDA	3
43	<i>Sarcodon imbricatus</i> (2022-11)	China	<MDA	<MDA	2
44	<i>Sarcodon imbricatus</i> (2022-12)	China	<MDA	<MDA	2
45	<i>Sarcodon imbricatus</i> (2022-13)	China	<MDA	<MDA	3
46	<i>Sarcodon imbricatus</i> (2022-14)	China	<MDA	<MDA	3
47	<i>Sarcodon imbricatus</i> (2022-15)	China	<MDA	<MDA	2
48	<i>Sarcodon imbricatus</i> (2022-16)	China	<MDA	<MDA	4
49	<i>Sarcodon imbricatus</i> (2022-17)	China	<MDA	<MDA	2
50	<i>Sarcodon imbricatus</i> (2022-18)	China	<MDA	<MDA	3
51	<i>Sarcodon imbricatus</i> (2022-19)	China	<MDA	<MDA	2
52	<i>Sarcodon imbricatus</i> (2022-20)	China	<MDA	<MDA	2
53	<i>Sarcodon imbricatus</i> (2022-21)	China	<MDA	<MDA	1
54	<i>Sarcodon imbricatus</i> (2022-22)	China	<MDA	<MDA	4
55	<i>Inotus obliquus</i> (2021-1)	Russia	<MDA	<MDA	32
56	<i>Inotus obliquus</i> (2021-2)	Russia	<MDA	<MDA	25
57	<i>Inotus obliquus</i> (2022-1)	Russia	<MDA	<MDA	23
58	<i>Inotus obliquus</i> (2022-2)	Russia	<MDA	<MDA	8
59	<i>Inotus obliquus</i> (2022-3)	Russia	<MDA	<MDA	5
60	<i>Inotus obliquus</i> (2022-4)	Russia	<MDA	<MDA	4
61	<i>Inotus obliquus</i> (2022-5)	Russia	<MDA	<MDA	2
62	<i>Inotus obliquus</i> (2022-6)	Russia	<MDA	<MDA	31

Table 6. continued

Number	Sample	Country of origin	Detection Value (Bq/kg)		
			$^{131}\text{I}$	$^{134}\text{Cs}$	$^{137}\text{Cs}$
63	<i>Isurus oxyrinchus</i> (2021-1)	Taiwan	<MDA	<MDA	1
64	<i>Isurus oxyrinchus</i> (2021-2)	Taiwan	<MDA	<MDA	1
65	<i>Isurus oxyrinchus</i> (2022-1)	Taiwan	<MDA	<MDA	1
66	<i>Isurus oxyrinchus</i> (2022-2)	Taiwan	<MDA	<MDA	1
67	Cheese(2021-1)	Norway	<MDA	<MDA	2
68	Cheese(2021-2)	Norway	<MDA	<MDA	2
69	Cheese(2021-3)	Norway	<MDA	<MDA	2
70	Blueberry jam(2021-1)	Belgium	<MDA	<MDA	52
71	Blueberry jam(2021-2)	Belgium	<MDA	<MDA	1
72	Blueberry jam(2021-3)	Belgium	<MDA	<MDA	1
73	Blueberry jam(2021-4)	Belgium	<MDA	<MDA	8
74	Blueberry jam(2021-5)	Belgium	<MDA	<MDA	3
75	Blueberry jam(2021-6)	Belgium	<MDA	<MDA	1
76	Blueberry jam(2021-7)	Belgium	<MDA	<MDA	1
77	Blueberry jam(2022-1)	Belgium	<MDA	<MDA	39
78	Blueberry jam(2022-2)	Belgium	<MDA	<MDA	7
79	Blueberry jam(2022-3)	Netherlands	<MDA	<MDA	6
80	Blueberry jam(2022-4)	Italy	<MDA	<MDA	6
81	Coffee bean(2022-1)	Guatemala	<MDA	<MDA	1

Table 7. Summary of Lists and its levels of imported agro-fishery products and processed foods contaminated by radioactive contaminants

Food category	Product	$^{131}\text{I}$	$^{134}\text{Cs}$	$^{137}\text{Cs}$	Number of samples	Number of detected cases
Seafood	<i>Theragra chalcogramma</i>	<MDA	<MDA	<MDA	3,111	0
	<i>Okamejei kenoeji</i>	<MDA	<MDA	<MDA	685	0
	<i>Seriola quinqueraduata</i>	<MDA	<MDA	<MDA	1,315	0
	<i>Pagrus major</i>	<MDA	<MDA	<MDA	1,974	0
	<i>Isurus oxyrinchus</i>	<MDA	<MDA	1	24	4
Agricultural food	<i>Sarcodon imbricatus</i>	<MDA	<MDA	1 - 7	60	54
	<i>Inotus obliquus</i>	<MDA	<MDA	2 - 32	11	8
Processed food	Fruit jam	<MDA	<MDA	1 - 52	35	11
	Cheese	<MDA	<MDA	2	110	3
	Coffee bean	<MDA	<MDA	1	112	1
Total					7,437	81

## 2. 수입 농수산물과 가공식품에서의 방사능 검출량 분석

방사능이 검출된 유통식품을 식품군과 식품유형으로 분류하고, 원산지에 따라 검출된 세슘( $^{137}\text{Cs}$ )의 평균값과 최대값을 분류한 결과를 Table 8에 나타내었다.

54건이 검출된 능이버섯은 모두 중국에서 수입되었으며, 최대 7 Bq/kg, 평균 2.28 Bq/kg이 검출되었다. 8건의 러시아산 차가버섯의 경우 최대 32 Bq/kg이 검출되었으며, 평균 16.3 Bq/kg이 검출되었다. 이와 비슷한 연구 중 2006년에 실시된 수입식품 중의 방사능 오염 실태조사에서 러시아에서 수입되는 차가버섯의 경우 131.25 Bq/kg이 나왔다(이완로 등, 2006). 식품의약품안전처에서 2013 - 2015년에 공개된 자료에는 능이버섯과 차가버섯이 각각 최대 981 Bq/kg, 78 Bq/kg으로 검출되었다(박유미, 2016). 또한, 2017 - 2019년에도 능이버섯과 차가버섯은 꾸준히 검출되었으며, 능이버섯은 최대 124 Bq/kg이 검출되었다(김은림, 2021). 과거 검출되었던 가장 높은 값과 본 연구에서 검출된 데이터를 비교하였을 경우, 능이버섯은 0.7%, 차가버섯은 24%에 해당하는 수준으로 낮게 검출되었다.

수산물의 경우 타이완에서 수입된 청상아리에서 1 Bq/kg이 검출되었다. 비슷한 연구로는 2013 - 2015년에 국내 시중 유통 수산물에 대한 방사능 조사에서 세슘( $^{137}\text{Cs}$ )이 0.140 - 1.97 Bq/kg의 최소 검출가능 농도범위 이하로 나타났다(Kim et al., 2015). 2013 - 2019년의 식품의약품안전처

자료에도 대구에서 16.0 Bq/kg이 검출된 적이 있으며, 다른 어종에서도 미량 검출되고 있다(김은림, 2021; 박유미, 2016).

가공식품 중에서 네덜란드에서 수입된 치즈에서 3 건의 세슘( $^{137}\text{Cs}$ )이 2 Bq/kg의 농도로 미량 검출되었으며, 과테말라에서 수입된 커피 원두에서 1 Bq/kg 미량 검출되었다. 블루베리가 포함된 잼에서는 11 건, 평균 11.5 Bq/kg, 1 - 52 Bq/kg의 범위로 검출되었다. 2017 - 2018년 유럽에서 수입된 베리 분말에서 최대 891 Bq/kg이 검출되었으며, 약 19건 부적합 판정 받은 사례가 있다. 2021년에 발간된 자료에도 베리류가 최대 232 Bq/kg 검출된다고 보도하고 있다 (Cantaluppi et al., 2021; Elstner et al., 1987)

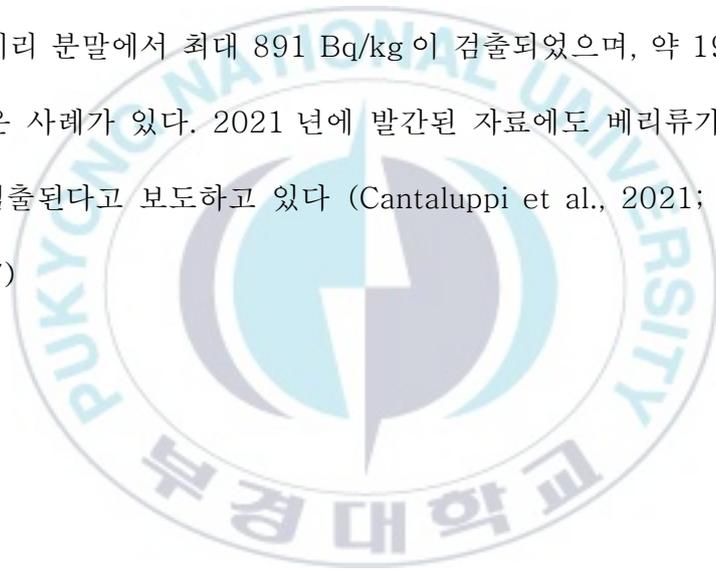


Table 8. Maximum and average levels of  $^{137}\text{Cs}$  detected in this study according to imported origin and food categories

Food category	Classification	Product	Country of origin	Maximum levels (Bq/kg)	Average levels (Bq/kg)	Detected range	Number of detected cases
Agricultural food	Mushrooms	<i>Sarcodon imbricatus</i>	China	7	2	1 - 7	54
		<i>Inonotus obliquus</i>	Russia	32	16	2 - 32	8
Seafood	Fishes	<i>Isurus oxyrinchus</i>	Taiwan	1	1	1	4
Processed food	Milks	Cheese	Netherlands	2	2	2	3
	Coffee	Coffee bean	Guatemala	-	1	1	1
			Norway	52	-	-	1
			Netherlands	39	-	-	1
	Sugars	Fruit jam	Italy	7	-	1- 52	1
Belgium	6		5	-	8		
Russia	1		1	-	2		

### 3. 수입농수산물과 가공식품에서의 방사능 오염 위해평가

방사능이 검출된 유통 식품의 유효선량을 구하기 위해서는 섭취량도 중요하다. 국민영양통계자료(한국보건산업진흥원, 2020)를 이용하여 방사능 검출식품의 일일 섭취량을 국민전체의 평균, 연령별로 Table 9에 나타내었다.

방사능이 검출된 식품의 국민 전체 일일 섭취량은 버섯류(6.23 g/day), 치즈(2.16 g/day), 커피(0.79 g/day), 잼(0.55 g/day), 청상아리 (0.07 g/day) 순으로 나타났다. 19 - 29세에서 대부분의 품목에 가장 높은 섭취량을 나타내었으며, 치즈류의 경우에는 1 - 2세가 가장 높은 섭취량을 나타내었다. 또한, 버섯류의 경우 50 - 64세에서 가장 높은 섭취량을 나타내었으며, 주로 건강보조식품으로 사용되는 청상아리와 커피의 경우 19세 미만의 섭취량이 낮았다.

Table 9. National average and age-specific intake of agro-fishery products and processed foods contaminated radioactive contaminants among the samples analyzed in this study.

(Unit : g/day)

Food category	Classification	Product	Overall average	Intake by age							
				1 - 2	3 - 5	6 - 11	12 - 18	19 - 29	30 - 49	50 - 64	65≤
Agricultural food	Mushroom	<i>Sarcodon imbricatus</i>	6.23	3.44	3.96	3.54	4.01	8.6	7.0	6.97	3.8
		<i>Inonotus obliquus</i>	6.23	3.44	3.96	3.54	4.01	8.6	7.0	6.97	3.8
Seafood	Fishes	<i>Isurus oxyrinchus</i>	0.07	0	0	0	0	0.04	0.12	0.06	0.07
Processed food	Sugars	Fruit jam	0.55	0.12	1.92	1.34	1.29	0.24	0.74	0.25	0.22
	Milks	Cheese	2.16	5.49	3.73	3.43	3.32	4.87	1.82	1.0	0.68
	Coffees	Coffee bean	0.79	0	0.01	0	0.06	1.06	1.25	0.87	0.27

표준인을 가정하여 인체에 미치는 영향을 평가하기 위해 유효선량을 환산식은 다음과 같다(김은림, 2021). 유효선량 평가에는 Sv(sivert, 시버트)가 단위로 사용되며, 조직가중치는 Table 10 에 나타내었다. 유효선량의 단위인 Sv(sivert, 시버트)로 변환하기 위해 국제원자력안전기구(International Atomic Energy Agency, IAEA)에서 제시하는 선량환산계수(Sv/Bq) 인자를 이용하였다. 식품 방사능 검사 시 중요시되는 핵종에 대한 선량환산계수는 Table 11 에 나타내었다.

$$H_{fr} = U_f \times D_r \times C_{fr}$$

$H_{fr}$  : 식품 f 중 함유된 핵종 r의 섭취로 인한 피폭선량 (Sv/yr)

$U_f$  : 식품 f의 섭취량 (kg/yr)

$D_r$  : 핵종 r의 선량환산계수 (Sv/Bq)

$C_{fr}$  : 섭취한 식품 f의 식품 중 방사능 r의 농도 (Bq/kg)

Table 10. Calculation of the dose caused by internal radiation justified by IAEA

(Unit : Sv/Bq)

Old Type	<1	1 - 2	2 - 7	7 - 12	12 - 17	17 ≤
<sup>131</sup> I	$1.8 \times 10^{-7}$	$1.8 \times 10^{-7}$	$1.0 \times 10^{-7}$	$5.2 \times 10^{-8}$	$3.4 \times 10^{-8}$	$2.2 \times 10^{-8}$
<sup>134</sup> Cs	$2.6 \times 10^{-8}$	$1.6 \times 10^{-8}$	$1.3 \times 10^{-8}$	$1.4 \times 10^{-8}$	$1.9 \times 10^{-8}$	$1.9 \times 10^{-8}$
<sup>137</sup> Cs	$2.1 \times 10^{-8}$	$1.2 \times 10^{-8}$	$9.6 \times 10^{-9}$	$1.0 \times 10^{-8}$	$1.3 \times 10^{-8}$	$1.3 \times 10^{-8}$
<sup>238</sup> Pu	$4.0 \times 10^{-6}$	$4.0 \times 10^{-7}$	$3.1 \times 10^{-7}$	$2.4 \times 10^{-7}$	$2.2 \times 10^{-7}$	$2.3 \times 10^{-7}$
<sup>239</sup> Pu	$4.2 \times 10^{-6}$	$4.2 \times 10^{-7}$	$3.3 \times 10^{-7}$	$2.7 \times 10^{-7}$	$2.4 \times 10^{-7}$	$2.5 \times 10^{-7}$
<sup>240</sup> Pu	$4.2 \times 10^{-6}$	$4.2 \times 10^{-7}$	$3.3 \times 10^{-7}$	$2.7 \times 10^{-7}$	$2.4 \times 10^{-7}$	$2.5 \times 10^{-7}$
<sup>90</sup> Sr	$2.3 \times 10^{-7}$	$7.3 \times 10^{-8}$	$4.7 \times 10^{-8}$	$6.0 \times 10^{-8}$	$8.0 \times 10^{-8}$	$2.8 \times 10^{-8}$

Table 11. The radiation weighting factor to neutrons

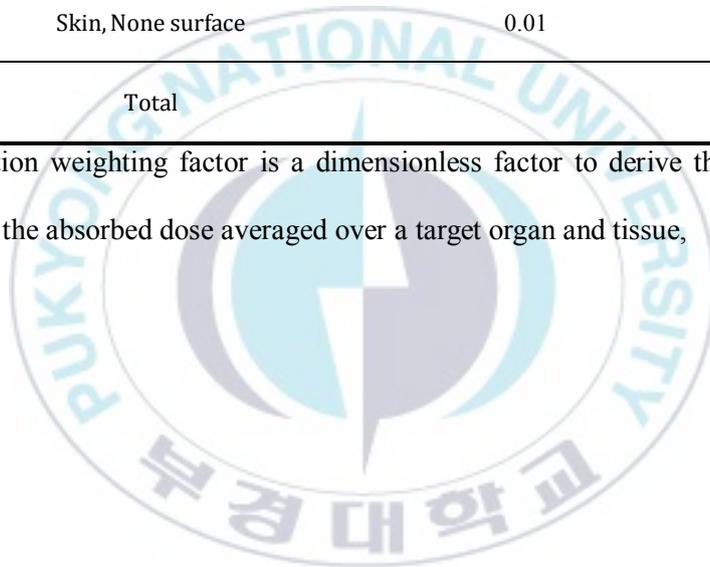
Type and energy range		
	γ-ray, X-ray, β-ray	1
	< 10 keV	5
	> 10 - 100 keV	10
Neutrons	> 100 - 2 MeV	20
	> 2 - 20 MeV	10
	> 20 MeV	5
	Proton	5
	Alpha particles, heavy nuclei	20

The radiation weighting factor is a dimensionless factor to derive the equivalent dose from the absorbed dose averaged over a target organ,

Table 12. The radiation weighting factor to tissue or organ

Tissue or organ	$W_t$	$\sum W_t$
Gonads	0.20	0.20
Red marrow, Colon, Lung, Stomach	0.12	0.48
Bladder, Breastm Liver, Oesophagus, Thyroid, Remainer	0.05	0.30
Skin, None surface	0.01	0.02
Total		1.0

The radiation weighting factor is a dimensionless factor to derive the equivalent dose from the absorbed dose averaged over a target organ and tissue,



### 3.1. 연령별 세슘( $^{137}\text{Cs}$ ) 오염식품 섭취 시 연간 유효선량

연령에 따라서 세슘( $^{137}\text{Cs}$ )이 오염된 식품을 먹었을 경우를 국민영양통계자료(한국보건산업진흥원, 2020)을 토대로 연간 유효선량을 나타내었다.

모니터링에서 검출된 세슘( $^{137}\text{Cs}$ )의 평균값을 이용하여 연령에 따라 유효선량을 비교한 결과와 ICRP 에서 권고하는 일반인 연간 인공방사선량 1 mSv 와 비교한 위해도를 Table 13 에 나타냈다. 유효선량은 19 - 29 세에서  $0.8207 \mu\text{Sv/year}$  로 가장 높았으며, 6 - 11 세에서  $0.3209 \mu\text{Sv/year}$  로 가장 낮았다. 위해도는 19 - 29 세에서 최대 0.0820%, 6 - 11 세에서 최소 0.0320%로 나타났다. 농산물(농이버섯, 차가버섯), 수산물(청상아리), 가공식품(잼, 치즈, 커피)를 모두 먹었을 경우 모든 연령대에서 0.082% 이하로 나타났으며, 1 mSv 와 비교하였을 때 상대적으로 안전한 수준으로 판단된다.

모니터링에서 검출된 세슘( $^{137}\text{Cs}$ )의 최댓값을 이용하여 연령에 따라 유효선량을 비교한 결과와 ICRP 에서 권고하는 일반인 연간 인공방사선량 1 mSv 와 비교한 위해도를 Table 14 에 나타냈다. 19 - 29 세에서  $1.702 \mu\text{Sv/year}$  로 가장 높았고, 1 - 2 세에서  $0.6630 \mu\text{Sv/year}$  로 가장 낮은 수치를 보였다. 모든 연령대에서 0.170% 이하 수준으로 나타났으며, 이는 상대적으로 안전한 수준으로 판단된다.

연령에 따라 유효선량과 위해도를 평가한 결과 세슘( $^{137}\text{Cs}$ )이 높은 차가버섯의 섭취량의 차이에 따라 유효선량과 위해도의 차이를 보임을 알 수 있었고, 과일잼의 섭취량이 높은 낮은 연령대에서도 소폭 증가함을 알 수 있었다.



Table 13. Risk assessment of agro-fishery products and processed foods contaminated by <sup>137</sup>Cs based on average annual intake dose and age group

(Unit : μSv/year)

Food category	Classification	Product	Average <sup>137</sup> Cs effective dose by age							
			1 - 2	3 - 5	6 - 11	12 - 18	19 - 29	30 - 49	50 - 64	65≤
Agricultural food	Mushrooms	<i>Sarcodon imbricatus</i>	0.03432	0.03161	0.02943	0.04334	0.09295	0.07566	0.07533	0.04107
		<i>Inonotus obliquus</i>	0.24484	0.22548	0.20997	0.30920	0.66311	0.53974	0.53743	0.29300
Seafood	Fishes	<i>Isurus oxyrinchus</i>	0	0	0	0	0.00019	0.00057	0.00028	0.00033
Processed food	Sugars	Fruit jam	0.00607	0.07767	0.05647	0.07067	0.01315	0.04054	0.01370	0.01205
	Milks	Cheese	0.04809	0.02614	0.02504	0.03151	0.04622	0.01727	0.00949	0.00645
	Coffees	Coffee bean	0	0.00004	0	0.00028	0.00503	0.00593	0.00413	0.00128
Total			0.33332	0.36094	0.32091	0.45500	0.82065	0.67971	0.64036	0.35419
Risk assessment (%)			0.0333	0.03610	0.03209	0.04550	0.08207	0.06797	0.06404	0.03542

Table 14. Risk assessment of agro-fishery products and processed foods contaminated by <sup>137</sup>Cs based on maximum annual intake dose and age group

(Unit : μSv/year)

Food category	Classification	Product	Maximum <sup>137</sup> Cs effective dose by age							
			1 - 2	3 - 5	6 - 11	12 - 18	19 - 29	30 - 49	50 - 64	65 ≤
Agricultural food	Mushrooms	<i>Sarcodon imbricatus</i>	0.10547	0.09713	0.09045	0.13319	0.28565	0.23251	0.23151	0.12622
		<i>Inonotus obliquus</i>	0.48215	0.44403	0.41437	0.60888	1.30582	1.06288	1.05832	0.57699
Seafood	Fishes	<i>Isurus oxyrinchus</i>	0	0	0	0	0.00019	0.00057	0.00028	0.00033
	Sugars	Fruit jam	0.02733	0.34984	0.25433	0.31829	0.05922	0.18259	0.06169	0.05428
Processed food	Milks	Cheese	0.04809	0.02614	0.02504	0.03151	0.04622	0.01727	0.00949	0.00645
	Coffees	Coffee bean	0	0.00004	0	0.00028	0.00503	0.00593	0.00413	0.00128
Total			0.66304	0.91717	0.78329	1.09216	1.70213	1.50175	1.36542	0.76556
Risk assessment (%)			0.0663	0.0917	0.0783	0.1092	0.1702	0.1502	0.1365	0.0766

### 3.2. 국민 전체 세슘(<sup>137</sup>Cs) 오염식품 섭취 시 연간 평균 유효선량

모니터링을 통해 검출된 세슘(<sup>137</sup>Cs)의 평균값과 최댓값의 식품들을 연령에 관계없이 국민전체가 섭취하였을 경우 받게 되는 유효선량을 국민영양통계(한국보건산업진흥원, 2020)를 토대로 알아보고, 이를 ICRP에서 권고하는 일반인 연간 인공방사선량 한도인 1 mSv와 비교한 위해도 결과값을 Table 15에 나타내었다.

Table 15. Risk assessment of agro-fishery products and processed food contaminated by <sup>137</sup>Cs compared with ICRP regulation

(Unit :  $\mu$ Sv/yr)

Food category	Classification	Product	Effective dose	
			Average	Maximum
Agricultural food	Mushrooms	<i>Sarcodon imbricatus</i>	0.0673	0.2069
		<i>Inonotus obliquus</i>	0.4804	0.9460
Seafood	Fishes	<i>Isurus oxyrinchus</i>	0.0003	0.0003
	Sugars	Fruit jam	0.03013	0.13571
Processed food	Milks	Cheese	0.02050	0.02050
	Coffees	Coffee bean	0.00375	0.00375
Total			0.60242	1.31318
Risk assessment (%)			0.06024	0.13132

국민 전체가 세슘( $^{137}\text{Cs}$ )에 오염된 농산물(농이벼섯, 차가벼섯), 수산물(청상아리), 가공식품(잼, 치즈, 커피)를 모두 먹었을 경우 유효선량은 평균 0.6024/yr, 최대 1.3132  $\mu\text{Sv/yr}$  로 나타났다. 이 중 차가벼섯은 각각 0.4804  $\mu\text{Sv/yr}$ , 0.9460  $\mu\text{Sv/yr}$  로 약 70% 이상의 비중을 차지하였으며, 청상아리가 0.003  $\mu\text{Sv/yr}$  로 가장 낮은 비중을 차지했다. 이는 차가벼섯이 평균 16.3 Bq/kg, 최대 32.0 Bq/kg 인 것과 섭취량이 6.23 g/day 로 높아 유효선량이 높게 나왔으며, 청상아리는 섭취량과 방사능 검출값이 작아 유효선량이 낮게 나타난 것으로 판단된다. 이를 ICRP 에서 권고하는 일반인 연간 인공방사선 허용선량 1 mSv 와 비교하였을 때, 국민 전체가 평균 0.131% 이하의 수준이므로, 유통 중 수입식품을 섭취하였을 때 인체에 받는 위해도는 상대적으로 안전한 것으로 판단된다.

## IV. 요약

본 연구에서는 식품의약품안전처가 제공하는 안전정보를 바탕으로 2021 년에서 2022 년까지 국내 유통되고 있는 수입식품 10 개의 품목을 선정하여 방사능 오염 모니터링을 실행하였고, 모니터링 결과에 따라 인체에 미치는 위해도를 평가하였다.

사용한 수입식품 시료는 농산물(농이버섯, 차가버섯) 71 건, 수산물(명태, 방어, 참돔, 청상아리, 홍어) 7,109 건, 가공식품(치즈, 커피, 잼) 257 건으로 총 7,437 건이다.

선정된 시료는 신속하고 정확한 방사능 검사를 하기 위해 전처리를 필요로 하고, 식품공전에 나와있는 직접법을 택하였다. 시료의 따라 적절한 전처리를 마친 시료는 1 L Marinelli beaker 에 충전한 뒤, 고순도 게르마늄 검출기(HPGe)통해 10,000 초 측정한다. 측정된 스펙트럼으로 방사성오염을 분석하였으며, 식품에서의 주요관심핵종인 요오드( $^{131}\text{I}$ )와 세슘( $^{134}\text{Cs}+^{137}\text{Cs}$ )을 중점적으로 분석하였다.

방사능 오염 모니터링 결과 농산물 62 건, 수산물 4 건, 가공식품 15 건에서 세슘( $^{137}\text{Cs}$ )이 검출되었으며, 요오드( $^{131}\text{I}$ )와 세슘( $^{134}\text{Cs}$ )은 모두 최소검출가능농도로 나타났다. 농산물의 농이버섯에서는 54 건으로 평균 2.28 Bq/kg, 1 - 7 Bq/kg 의 범위로 검출되었다. 차가버섯은 8 건으로

평균 16.3 Bq/kg, 2 - 32 Bq/kg 의 범위로 검출되었다. 수산물 청상아리에서 4 건은 1 Bq/kg 로 검출되었다. 가공식품 치즈에서는 3 건이 2 Bq/kg 검출되었다. 커피원두는 1 건으로 1 Bq/kg, 블루베리가 들어있는 잼은 평균 11.5 Bq/kg, 1 - 52 Bq/kg 의 범위로 검출되었다. 과일잼의 국내 식품 방사능 기준은 세슘( $^{137}\text{Cs}$ )이 100 Bq/kg 이하이기에 적합 통과되었다.

국민영양통계자료와 모니터링 결과를 토대로 국민전체 및 연령별 섭취량에 따른 인체에 미치는 정도를 위해도를 평가하기 위해 유효선량으로 나타냈다. 모니터링에서 검출된 세슘( $^{137}\text{Cs}$ )의 평균값을 이용하여, 연령별로 유효선량을 나타낸 결과 19 - 29 세에서 0.8207  $\mu\text{Sv}$  로 가장 높았으며, 6 - 11 세에서 0.3209  $\mu\text{Sv}$  로 가장 낮았다. 이는 ICRP 에서 권고하는 일반인 허용 유효선량에 비해 약 0.032 - 0.082%로 낮은 수준을 나타냈다. 모니터링에서 검출된 세슘( $^{137}\text{Cs}$ )의 최댓값을 이용하여 유효선량을 나타낸 결과, 19 - 29 세에서 1.702  $\mu\text{Sv}$  로 가장 높았고, 1 - 2 세에서 0.6630  $\mu\text{Sv}$  로 가장 낮았다. ICRP 에서 권고하는 일반인 허용 선량인 1 mSv 와 비교하였을 때, 0.066 - 0.170 %로 낮은 수준을 나타냈다. 연령으로 구별하지 않고, 국민 전체에 대하여 모니터링에서 검출된 세슘( $^{137}\text{Cs}$ )이 포함된 식품을 섭취 시 받을 수 있는 유효선량을 평가하였을 때, 평균 0.6024  $\mu\text{Sv}$ , 최대 1.3132  $\mu\text{Sv}$  를 받는

것으로 나타났다. 위해도는 1 mSv 와 비교하였을 때 평균 0.060%, 최대 0.131%의 수준이다.

결과적으로 모니터링에 사용된 시료인 농산물(능이버섯, 차가버섯), 수산물(명태, 방어, 참돔, 청상아리, 홍어), 가공식품(치즈, 커피, 잼)으로 만들어진 식단을 섭취하였을 때, 연령에 관계없이 소비자는 평균 0.6024  $\mu$ Sv, 최대 1.3132  $\mu$ Sv 의 유효선량을 받는 것으로 나타났다. 이를 ICRP 에서 권고하는 연간 일반인 인공방사선량 한도인 1 mSv 와 비교하는 위해도로 나타내었을 때, 최대 0.170% 이하로 상대적으로 안전한 수치를 보였다. 이 수치는 본 연구에 사용된 방사능 오염식품을 모두 섭취하였을 경우를 가정하여 진행되었기에, 실제 유효선량은 더 낮을 것으로 판단된다. 하지만 2023 년 후쿠시마 방류를 앞 둔 시점에서 국민의 불안감 감소와 식품의 안전성 확보를 위해 체계적이고 주기적인 모니터링이 필요하다고 생각한다.

## V. 참고문헌

- Baek GH, Jeong, HS, Kim H. & Yoon, TJ, Suh HJ & Yu KW (2012) Pharmacological Activity of Chaga Mushroom on Extraction Conditions and Immunostimulating Polysaccharide, *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, 41, 1378-1387.
- CODEX (1955) Codex general standard for contaminants and toxin in food and feed(Codex stan, 193), Codex Alimentarius Commission
- GammaVision-32 Gamma-Ray Spectrum Analysis and MCA Emulator for Microsoft Windows 2000 Professional, XP Professional SP2, Vista Ultimate, and Windows7 User's Manual, Advanced Measurement Technology Inc.
- Guillen J (2014) Radioactivity in mushrooms: A health hazard, *Food Chemistry*, 154, 14-25
- Heinrich G (1992) Uptake and transfer factors of  $^{137}\text{Cs}$  by mushrooms, *RADIAT Environ Biophys*, 31, 39-49
- Hill R, Hill P, Heinmann K, Ramzaev V, Barkovski A, Konopli V.& Neth R (2000) Current development of the human and environmental contamination in the BryanskGomel Spot after the Chernobyl accident. *Radiation and Environment Biophysics*, 39, 99-109
- IAEA (1982) Generic Models and Parameters for assessing the environmental transfer of radionuclides from routine release, Safety series, 57, Vienna.
- IAEA (2006) Environmental consequences of the Chernobyl accident and their

- remediation : Twenty yars of experience, IAEA Radiological Assessment Report Series, STI/PUB/1239
- IAEA (2014) Radiation Protection and Safety of Radiation Sources : International Bsic Safety Standards.
- ICRP (1997) Individual monitoring for internal exposure of workers replacement of ICRP publication 54, ICRP pub 78, Ann ICRP, 27(3-4)
- Information of food radioactivity safety management. Retrieved from [http://www.Mfds.go.kr/brd/m\\_605/list.do](http://www.Mfds.go.kr/brd/m_605/list.do)
- KAERI(Korea Atomic Energy Reserch Institute), (2005), Survey of radioactive contamination of foodstuffs
- Ministry of Food and Drug Safety, 2018.12.30
- Shikov A, Pozharitskaya O, Makarov V, Wanger H, Verpoorte R & Heinrich M (2014), Medicinal plants of the Russian Pharmacopoeia; their history and application, *Journal of Ethnopharmacol*, 154, 481-536.
- Valkovic V (2000) *Radioactivity in the Environment*, Elsever
- WHO (2013) “Health Risk Assessment from the Nuclear Accident after the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami, based on Preliminary Dose Estimation, 17-24
- Zhu H, Wang S, Meng W, Wang D, Zheng X, Liu Q & Liu P (1993) Determination  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{210}\text{Po}$  contents in Chinese diet and estimations of internal doses to these radionuclides . *Radiation Protection*, 13, 85-92
- 김도성, 1998, 방사선물리학, 대학서림

김수현 (2017). 교차분석 시료를 이용한 HPGe 검출기의 동시합성효가 평가.

부경대학교 석사학위논문

김은림 (2021). 식품 방사능 안전관리 현황 및 기준 값에 대한 연구.

고려대학교 석사학위논문

김창중, 임충섭, 이완로, 장 미, 지영용, 정근호 & 강문자. 2015, Survey Study on Radioactivity of Domestic Fishery Product, Korean Journal of Food Science and Technology Korean Society of Food Science and Technology.

류지승 (2015). 부산, 경남지역 환경시료의 전베타 방사능 농도. 부경대학교 석사학위논문

박유미 (2016). 유통 식품 중 방사능 오염 모니터링과 위해성 평가.

중앙대학교 석사학위논문

박환배, 강희동, 김홍주, 이상훈, 김성환, 김 완, 이창우, 이동명, 김용재, 강문자, 정근호, 변종인, 2016, 放射線 測定과 核種分析의 原理와 적용, 경북대학교

송지연 (2012). 울진토양에서의  $^{137}\text{Cs}$  및  $^{90}\text{Sr}$  분포. 경북대학교 석사학위 논문

식품의약품안전처, 식품안전관리지침, 2020

식품의약품안전처, 식품공전, 2020

식품의약품안전처, 수입식품안전관리 특별법, 2020

식품의약품안전처, 수입식품 등 검사명령에 관한 규정, 2019

식품의약품안전처, 국내 유통식품방사능 안전관리현황, 2021

식품의약품안전처, 국내 유통식품방사능 안전관리현황, 2022

심재정 (2015). 발연질산법에 의한 부산, 경남 지역 환경시료의  $^{90}\text{Sr}$ 분석.

부경대학교 석사학위논문

옥치일, 2000, 방사선물리학의 세계, 전파과학사

유동한, 이한수, 2003, 방사능물질의 토양침적시 거동분석모델 개발,

대학환경공학회 학술발표논문집, 2003-10호, pp. 478-485

이기성, 김은희, 이모성, 권석근, 임영기, 최호신, 한문희, 이재기, 2009,

우리나라의 방사선 환경, 한국원자력안전기술원

이륜경 (2016) 식품 중 방사성 물질의 실태와 안전관리 현황에 관한 연구.

영남대학교 박사학위논문

이완로, 이행필, 정근로, 김희령, 조영현, 최근식, 이창우, 정혀욱, 이은주,

소유섭 & 이종욱. (2006), 수입 식품중의 방사능 오염실태 조사, 대한

방사선 방어학회, 31, 141-148

정미영 (2014). HPGe 검출기를 이용한 Full Spectrum 감마선분광분석법 연구.

과학기술연합대학원대학교 석사학위논문

정창호, 최성길 & 허호진. (2008), 국내 시판 블루베리와 라즈베리의 영양성분

분석 및 라즈베리의 영양성분 분석 및 항산화 활성, 한국식품영양과학회지,

37(11), 1375-1381

정혜윤 (2016). 감마핵종분석기(HPGe)를 이용한 부산 금정산지역

환경방사능분석. 부산대학교 석사학위논문

쿠로쿠라 히사시 (2016) 수권의 방사능오염 (김성수, 김영일, 조현서 역),

아카데미서적 (원전은 2015년에 출판)

한국보건산업진흥원, 국민건강영양조사, 2020

한국해양과학기술원, 방사능 물질의 수산물 농축 영향 및 오염 사례 연구,

2015

한정숙. (2013). 체르노빌 원전사고, 역사비평 2013년 역사비평, 여름호, 199-

232

