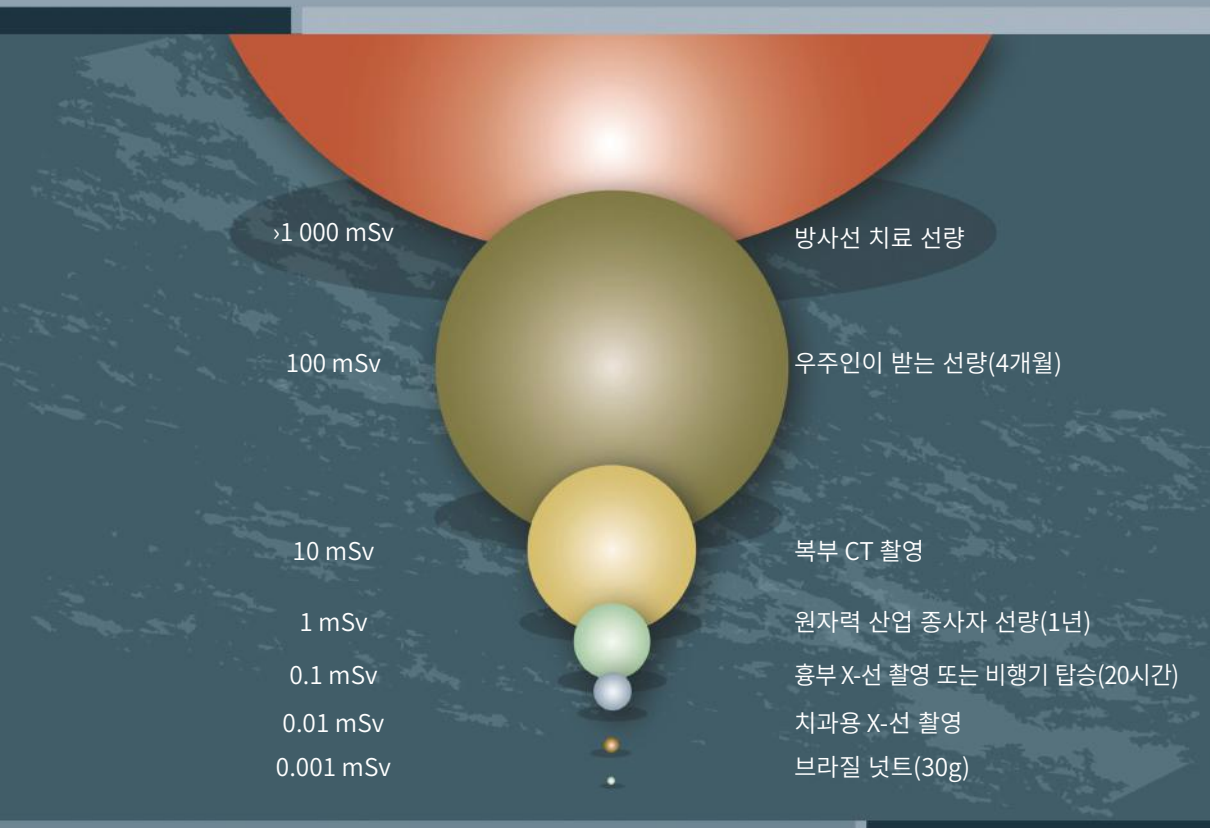
UNEP

방사선

영향과 선원

방사선이란 무엇인가?
방사선은 우리에게 어떤 영향을 미치는가?
방사선은 어디에서 발생하는가?



유엔환경계획

UNEP

방 사 선

영향과 선원

방사선이란 무엇인가?
방사선은 우리에게 어떤 영향을 미치는가?
방사선은 어디에서 발생하는가?

유엔환경계획

면책사항

본 책자는 주로 유엔총회의 부속기구이자 유엔환경계획이 사무국을 제공하는 유엔방사선영향과학위원회(UNSCEAR)의 연구결과를 토대로 작성되었습니다. 본 책자는 유엔환경계획이나 유엔방사선영향과학위원회의 견해를 대변하지 않습니다.

본 책자에서 사용되는 명칭과 제시된 자료들은 특정국가의 법적상태, 영토, 도시, 권한 또는 국경이나 경계의 결정에 과한 유엔환경계획의 의견을 암시하지 않습니다.

본 책자를 교육용이나 비영리 목적으로 활용하고자 할 경우, 사전에 저작권자에게 공지해 주시면 별도의 허가를 받지 않더라도 복사하여 사용하실 수 있습니다. 본 책자를 활용하신 경우 유엔환경계획에 복사본을 보내주시기 바랍니다.

유엔환경계획의 사전 서면 동의를 얻기 전 까지 본 책자를 전매 혹은 다른 상업적 용도로 사용해서는 안됩니다.

유엔환경계획은 국제적으로 환경보전을 장려하며 스스로도 실천하고 있습니다. 본 책자는 재활용 용지를 활용했으며 염소가 전혀 들어가 있지 않습니다. 유엔환경계획의 유통정책은 탄소이력을 줄이는 것을 목표로 합니다.

저서명: **방사선 영향과 선원**
ISBN: **978-92-807-3825-4**
Job No.: **DEW/2323/NA**
Copyright © **United Nations Environment Programme, 2016**
전자출판본

UNEP

방 사 선

영향과 선원

방사선이란 무엇인가?
방사선은 우리에게 어떤 영향을 미치는가?
방사선은 어디에서 발생하는가?

유엔환경계획

감사의 글

이 책자는 대부분 Geoffrey Lean에 의해 1985년과 1991년에 최초로 편집된 유엔방사선영향과학위원회와 유엔환경계획 출판물 방사선: 선량, 영향, 위험에 대한 결과물에 근거하고 있습니다.

이 책자는 영문으로 최초 출반되었으며, 대한방사선방어학회의 젊은 과학자 그룹에 의해 번역되었습니다. 번역으로 인한 차이가 있을 경우 원문의 해석을 따릅니다.

기술편집 : Malcolm Crick, Ferid Shannoun

문서편집 : Susan Cohen-Unger, Ayhan Evrensel

도표배치 : Alexandra Diesner-Kuepfer

추가하여, 다음은 이 책자를 위해 소중한 기여와 조언을 해주신 분들입니다.

Laura Anderson, John Cooper, Susan Cueto-Habersack, Emilie van Deventer, Gillian Hirth, David Kinley, Vladislav Klener, Kristine Leysen, Kateřina Navrátilová-Rovenská, Jaya Mohan, Wolfgang-Ulrich Müller, Maria Pérez, Shin Saigusa, Bertrand Thériault, Hiroshi Yasuda, Anthony Wrixon

서문

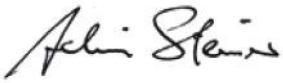
히로시마, 나가사키, 스리마일 섬 , 체르노빌, 후쿠시마와 같은 이름들은 대중에게 방사선에 대한 공포를 일으켰습니다. 하지만, 사람들은 사실 일상생활에서 대기와 지구, 의료방사선, 산업방사선 등으로부터 더 많은 방사선을 받고 있습니다.

1955년, 핵무기 실험으로 방출된 방사선이 공기, 물, 음식에 미치는 영향에 대한 대중의 우려가 있었습니다. 이에 대응하기 위해 유엔총회는 유엔방사선영향과학위원회(UNSCEAR)를 설립하여 방사선피폭의 정도와 영향에 대한 정보를 수집하고 평가 했습니다. 위원회의 첫 보고서는 대기 중 핵무기 실험을 금지하는 부분적 핵실험 금지조약(1963) 협의의 과학적 근거로 활용되었습니다. 그 후에도 세간의 이목을 끄는 방사선 피폭에 대한 보고서들을 계속해서 출간했습니다. 이 보고서들에는 체르노빌 사고와 후쿠시마 제1원전 사고에 대한 보고서도 포함되어 있습니다. 위원회는 과학위원회와 정책입안자들에게 도움이 되는 업무들을 지속적을 수행해 왔습니다.

과학위원회가 방사선의 선원과 영향에 대한 정보를 발간해 왔지만 대중들이 이해하기에는 너무 전문적이고 어려운 경향이 있습니다. 그래서 대중들이 정보를 얻기보다는 혼란을 받는 경우가 많았으며 , 수십 년 전에 발생한 방사선에 대한 공포와 혼란이 아직까지 이어지는 사태가 발생했습니다. 본 책자는 유엔방사선영향과학위원회의 가장 최신 과학정보들을 이용하여 방사선의 종류, 선원, 방사선의 인체, 환경영향에 대해 객관적으로 다루며 일반인들도 쉽게 이해할 수 있도록 저술하였습니다.

현재 유엔방사선영향과학위원회 사무국은 , 국가들이 친환경적인 절차와 관행을 도입할 수 있도록 지원하는 유엔환경계획의 지원하에 운영되고 있습니다. 대중들이 방사선을 이해하고, 방사선이 생명체에게 어떠한 영향을 미치는 지를 이해하도록 돕는 것이 유엔환경계획의 핵심목표입니다.

저는 본 책자에 도움을 주신 모든 분들께 감사의 말씀을 드리고 싶습니다. 위원회 회원분들 뿐만 아니라 지난 60년간 방사선 이슈와 관련하여 성실히 일해오신 관계자 분들께도 감사의 말씀을 드립니다.



Achim Steiner
유엔환경계획 사무국장
유엔 사무차장

목차

소개 1

1. 방사선이란 무엇인가? 3

1.1. 방사선의 역사 3

1.2. 방사선의 기초 4

방사성붕괴와 반감기 6

방사선 단위 7

1.3. 방사선의 투과력 9

2. 방사선은 우리에게 어떤 영향을 미치는가? 11

2.1 인체영향 13

초기 건강영향 14

지연성 건강영향 15

자손에게 미치는 영향 18

2.2 동물과 식물에 미치는 영향 22

2.3 방사선량과 영향과의 관계 24

3. 방사선은 어디에서 발생하는가? 27

3.1 자연선원 28

우주선 28

지각선량 29

음식물 32

3.2 인공선원 32

의료용 선원 33

핵무기 37

원자로 39

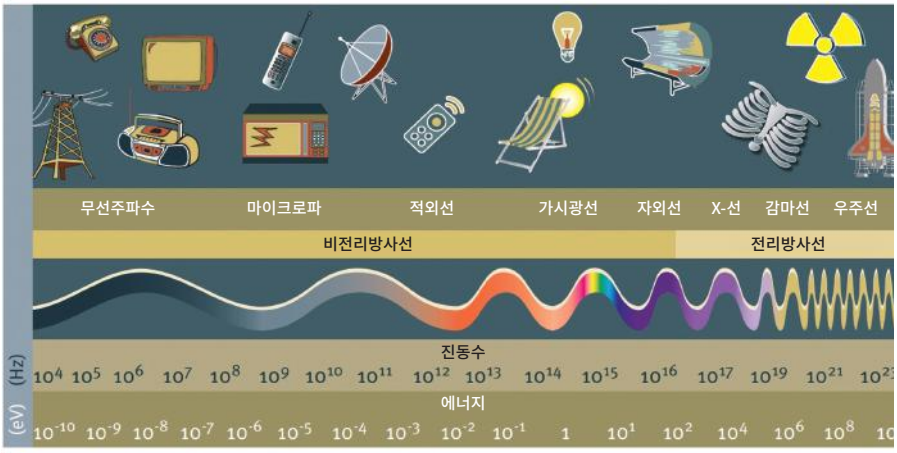
산업 및 기타용도 48

3.3 일반 대중과 종사자의 평균 방사선 피폭 54

소개

본격적으로 내용을 설명하기 전에 우리는 우선 전리방사선과 비전리방사선을 구별해야 합니다. 전리방사선은 전자를 원자로부터 분리시킬 수 있는 충분한 에너지를 갖고 있습니다. 전리방사선으로 인해 전자를 잃은 원자는 전하를 띠게 됩니다. 반면에 전파, 가시광선 혹은 자외선과 같은 비전리방사선은 전자를 원자로부터 분리시킬 정도로 에너지가 높지 않습니다. 본 책자는 자연, 인공선원으로부터 나오는 방사선 모두를 다룰 예정이지만, 본 책자에서 언급되는 방사선은 전리방사선만을 의미합니다.

방사선의 다양한 활용 분야



비전리방사선은 원자나 분자에 변화를 줄만큼 큰 에너지를 가지고 있지 않습니다.

오늘날 우리는 어떠한 다른 위험물질에 노출되었을 때의 영향보다 방사선원과 방사선 피폭의 영향에 대해 잘 알고 있습니다. 뿐만 아니라 과학계는 방사선원과 피폭의 영향에 대해 꾸준히 분석하고 정보를 업데이트하고 있습니다. 사람들 대부분은 방사선이 원자력 발전이나 의료 목적으로 사용되고 있다는 것을 인지하고 있습니다. 하지만 산업, 농업, 건설, 연구 그리고 기타 각종 분야들에도 원자력 기술이 사용되고 있다는 것은 전혀 모르는 경우가 많습니다. 본 책자의 주제에 대해 처음 접해본 분이라면, 우리가 전혀 주목하지 않은 방사선원으로부터 상당히 많이 피폭을 받고 있다는 사실에 놀라워할 것입니다. 사실 우리는 자연에 항상 존재하는 선원으로부터 가장 많은 피폭을 받고 있으며, 인공선원의 대부분은 의료용으로 사용하고 있는 방사선원으로부터 나옵니다. 게다가 비행, 자연선량이 높은 일부 지역에서 거주하는 것과 같은 일상생활에서도 상당한 양의 방사선 피폭을 받을 수 있습니다.

본 자료는 유엔환경계획(UNEP)과 유엔방사선영향과학위원회(UNSCEAR) 사무국이 전리방사선의 선원, 준위, 피폭의 영향을 대중에게 인식시키고 이해를 돕기 위한 노력의 일환으로 제작되었습니다. 1955년 유엔총회에서 27개 회원국들의 저명한 과학자들이 모여 유엔방사선영향과학위원회를 설립하였습니다. 유엔방사선영향과학위원회는 방사선 피폭, 피폭의 영향, 피폭의 위험성을 평가하는 기관입니다. 안전성 기준을 세우거나 권고하지는 않지만 과학적 정보를 제공해 각국의 정부가 직접 안전성 기준을 세우고 권고할 수 있도록 합니다. 본 책자는 지난 60년간 유엔방사선영향과학위원회의 과학적 평가를 주요 참고자료를 활용하여 저술하였습니다.

1. 방사선이란 무엇인가?

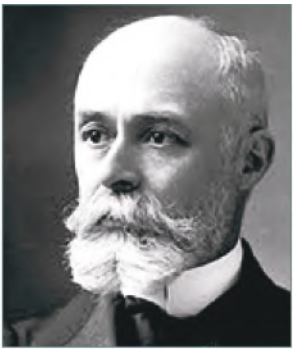
방사선 피폭의 정도, 영향, 위험성에 대해 이야기하기 위해서는 방사선학에 대한 기본지식이 있어야 합니다. 방사능과 방사선은 생명체가 나타나기 오래 전부터 지구상에 있었습니다. 사실 방사능과 방사선은 우주가 생겨날 때부터 우주에 존재해 왔고, 방사성물질은 지구의 초기 형성 단계에서 지구의 한 부분을 이루고 있었습니다. 하지만 근본적이고 전 우주적인 이 사실을 인류가 최초로 발견한 것은 고작 19세기 말이며, 우리는 여전히 방사선을 다루는 방법을 배워나가고 있는 상황입니다.

1.1. 방사선의 역사

1895년 독일의 물리학자인 빌헬름 뢴트겐이 스스로 X-선이라 명명한, 인체 내부를 들여다 볼 수 있는 방사선을 발견했습니다. X-선의 발견은 방사선을 의료목적으로 사용할 수 있는 시대가 올 것임을 알렸고 그 때부터 지금까지 방사선의 의료적 활용은 계속해서 증가하고 있습니다. 뢴트겐은 인류 역사에 큰 공헌을 한 공로를 인정받아 1901년 최초의 노벨 물리학상을 수상했습니다. 뢴트겐이 X-선을 발견한지 1년 뒤 프랑스 과학자인 알리 베크렐은 우라늄을 함유한 광물이 있는 서랍 속에 사진 건판을 넣었습니다. 그는 건판을 현상시켜본 뒤 건판이 방사선에 영향을 받는 다는 사실을 알게 되었으며 이 현상을 방사능이라고 명명했습니다. 방사능은 원자에서 에너지가 방출될 때 자연적으로 발생하고 측정단위는 앙리 베크렐을 기려 베크렐(Bq)이라고 부릅니다. 젊은 과학자인 마리 큐리는 보다 심도있는 연구를 진행했고 방사능이라는 단어를 최초로 사용하였습니다. 1898년 그녀와 그녀 남편인 피에르 큐리는 우라늄이 방사선을 방출한다는 사실을 발견했고, 우라늄은 신기하게도 다른 물질로 변화했습니다. 그 중 하나는 그녀의 조국의 이름을 딴 폴로늄이고 또 다른 하나는 라듐이라 명명한 '반짝이는' 원소 입니다.

Wilhelm C. Roentgen (1845–1923)

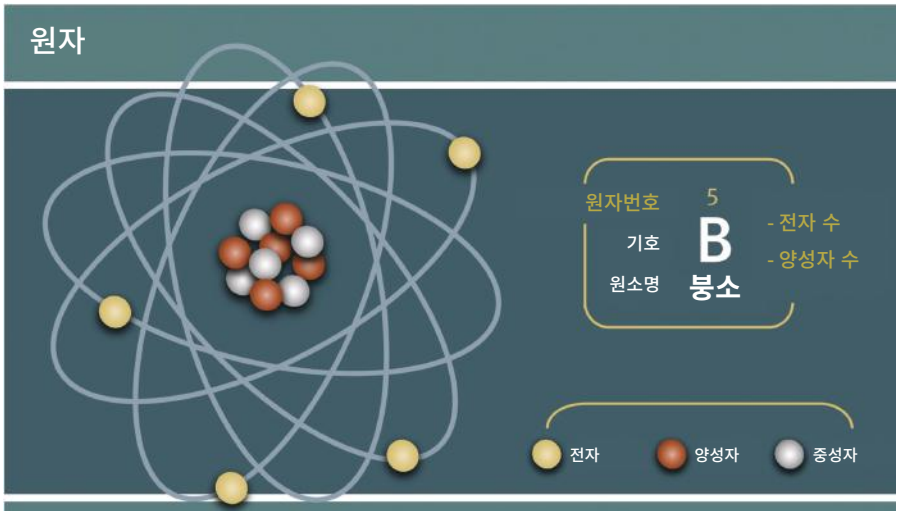
Marie Curie (1867–1934)


Henri Becquerel (1852–1908)

마리 큐리는 1903년 피에르 큐리, 앙리 베크렐과 함께 노벨 물리학상을 수상합니다. 그녀는 최초로 노벨상을 수상한 여성이며 1911년 방사선을 발견한 공로로 다시 한 번 노벨 화학상을 수상합니다.

1.2. 방사선의 기초

과학자들은 원자 특히 원자의 구조에 대해 이해하기 위한 연구를 진행했습니다. 현재 원자가 양전하를 띠는 아주 작은 핵과 이를 둘러싸는 음전하를 띠는 전자구름으로 이루어져 있다는 사실이 알려져 있습니다. 핵의 크기는 전체 원자의 단지 수 백 분의 일 정도지만 밀도가 높아 원자 질량의 거의 대부분을 차지하고 있습니다. 일반적으로 핵은 서로 결합되어 있는 양성자와 중서자들의 무리입니다. 양성자는 전기적으로 양전하를 갖지만 중성자는 전하가 없습니다. 화학 원소는 원자에 들어있는 양성자의 개수로 결정됩니다. (예를 들어 붕소는 5개의 양성자를 가지고 있고 우라늄은 92개의 양성자를 가지고 있습니다.) 양성자의 개수는 같지만 중성자의 개수가 다른 원소를 동위원소라고 부릅니다. (예를 들어 우라늄-235와 우라늄-238은 핵속에 있는 중성자의 개수가 3개 차이 납니다). 원자는 보통 양전하 혹은 음전하를 띠지 않습니다. 왜냐하면 원자에는 음전하를 띠는 전자의 수 만큼 양전하를 띠는 양성자가 있기 때문입니다.

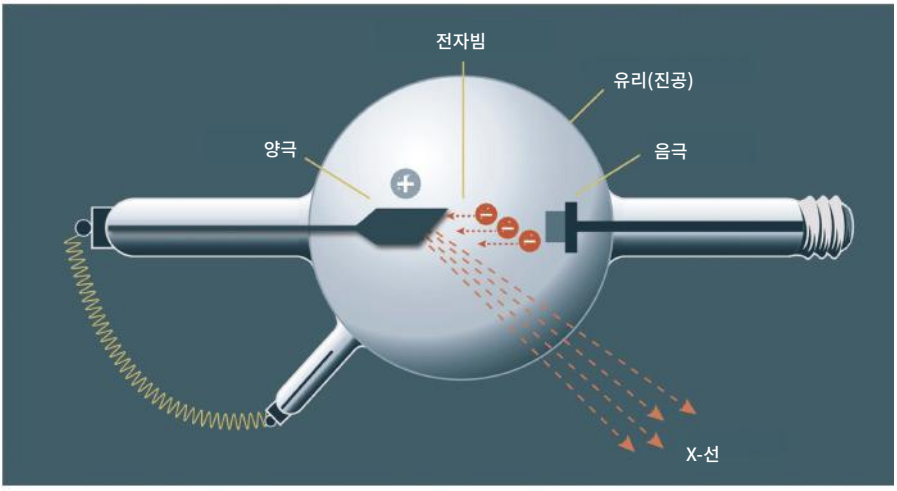


원자는 전기적으로 각각 중성, 양성, 음성인 중성자, 양성자, 전자구름으로 구성되어 있습니다. 전기적으로 중성인 원자는 전자와 양성자의 수가 같으며, 이는 원자번호를 나타냅니다.

몇몇 원자는 원래부터 안정적인 반면에 일부 원자는 불안정합니다. 불안정한 핵을 가진 원자는 방사선형태로 에너지를 방출하여 안정화 됩니다. 이 원자를 방사성핵종이라 부릅니다. 방사성핵종이 방출한 에너지는 다른 원자를 전리시킬 수 있습니다. 전리는 원자가 전자를 잃거나 얻어 양전하나 음전하를 띠게 되는 과정입니다. 전리방사선은 전자를 궤도에서 이탈시켜 전하를 띠는 원자인 이온을 생성시키기에 충분한 에너지를 가지고 있습니다. 양성자 두 개와 중성자 두 개가 방출되는 것을 일컬어 알파붕괴라 하고 전자를 방출하는 것을 베타붕괴라고 합니다. 대부분의 불안정한 방사성핵종은 에너지가 너무 커서 입자형태로 에너지를 방출하더라도 안정화되기에는 충분하지 않습니다. 그래서 광자처럼 에너지를 전자기파 형태로 방출하는 데 이를 감마선이라고 부릅니다.

X-선도 감마선과 마찬가지로 전자기 방사선이지만 광자의 에너지가 낮습니다. 유리로 만들어진 진공관의 음극에서 발생된 전자빔을 표적물질인 양극에 조사하면 다양한 에너지의 X-선 스펙트럼이 만들어집니다. X-선 스펙트럼은 양극의 물질과 전자빔의 가속 에너지에 따라 달라집니다. 그러므로 산업용, 의료용 목적으로 활용가치가 높은 X-선은 필요에 따라 만들어 질 수 있습니다.

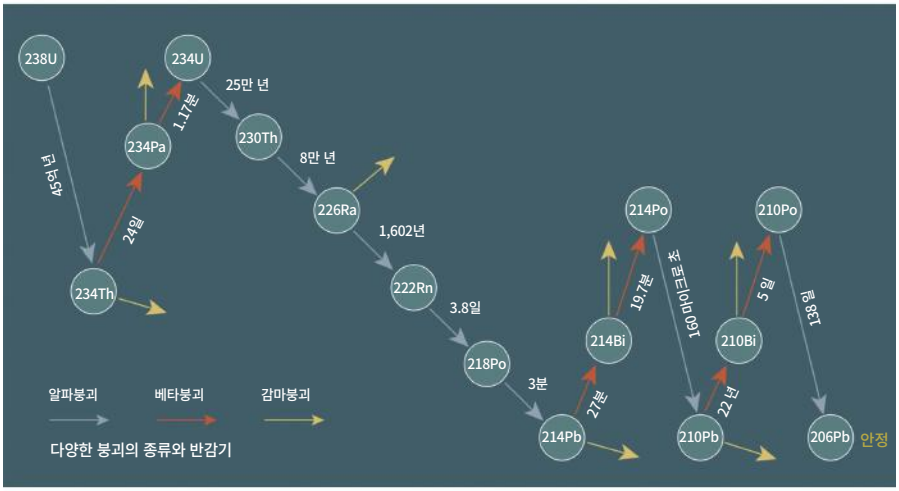
X-선 튜브



방사성붕괴와 반감기

모든 방사성핵종이 불안정하지만 일부 방사성핵종은 매우 불안정합니다. 예를 들어 우라늄-238(양성자 92개, 중성자 146개)의 원자핵에 있는 입자들은 잠시 뭉쳐있을 수 있을 뿐입니다. 결국 두 개의 양성자와 두 개의 중성자가 원자에서 떨어져 나와 알파입자 형태로 방출되어 우라늄-238은 토륨-234(양성자 90개, 중성자 144개)로 변형됩니다. 그러나 토륨-234 역시도 불안정하여 변형됩니다. 우라늄-238과는 달리 토륨-234의 경우 고 에너지 전자를 베타입자로 방출하고 프로트악티늄-234(양성자91개, 중성자 143개)가 됩니다. 그 후로도 계속해서 입자를 방출하며 변형이 일어나게 되고 결국 안정한 납-206(양성자 82개, 중성자 124개)이 됩니다. 이러한 변형은 많은 단계를 거치며 방사성 붕괴라고 부릅니다.

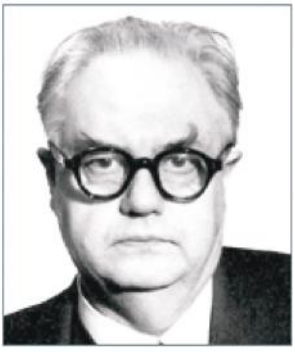
우라늄-238 붕괴사슬



원소의 양이 절반으로 붕괴되는 데까지 걸리는 기간은 반감기라고 알려져 있습니다. 한 반감기 이후에 100만 개의 원자들 중 약 50만개의 원자가 다른 물질로 붕괴됩니다. 다음 반감기에서는 25만개의 원자가 붕괴됩니다. 이런 식으로 모든 원자가 붕괴되기 전까지 계속해서 붕괴가 일어납니다. 10번의 반감기가 지나면 100만개의 원자들 중 약 천개의 원자만이 남게 됩니다.(즉, 약 0.1%). 위에 주어진 예시에서 프로트악티늄-234 원자의 절반이 우라늄-234로 붕괴되는 데까지는 단지 약 1분이 걸릴 뿐입니다. 반면 우라늄-238의 경우에는 원자 절반이 토륨-234로 붕괴되는 데까지 45억년이 걸립니다. 즉, 자연적으로 생겨난 방사성핵종은 상대적으로 적은 개수만 자연에 남아있습니다.

방사선단위

오늘날 우리는 방사선이 생체 조직에 손상을 입힐 수 있다는 사실을 알고 있습니다. 생체 조직에 축적된 에너지의 양은 선량이라는 단위로 표현합니다. 방사선량은 인체 외부에 있는, 혹은 들이마시거나 섭취하여 인체 내부에 있는 하나 혹은 다수의 방사성핵종으로부터 발생할 수 있습니다. 선량은 인체가 얼마나 피폭되었는지, 어느 부위에 피폭되었는지, 몇 명이 피폭되었는지, 그리고 피폭의 기간(예를 들어 급성피폭)에 따라 다른 방식으로 표현합니다.



Harold Gray (1905–1965)
Rolf Sievert (1896–1966)

신체 조직의 단위 킬로그램당 흡수된 방사선 에너지의 양을 흡수선량이라 부르고 단위는 영국의 물리학자이자 방사선 생물학의 선구자인 헤럴드 그레이의 이름을 딴 그레이(Gy)를 사용합니다. 그러나 이는 알파입자가 동일한 베타입자나 감마선 보다 더 큰 손상을 준다는 점을 보여주지 못한다는 한계가 있습니다. 방사선종류별 흡수선량을 비교하기 위해서는, 선량에 생물학적 손상 가능성에 대한 가중치를 두어야 합니다. 가중치가 부여된 선량을 등가선량이라고 부르며 단위는 스위스의 과학자인 롤프 시버트의 이름을 딴 시버트(Sv)를 사용합니다. 1리터가 1,000밀리리터이고 1미터가 1,000밀리미터이듯이 1시버트는 1,000 밀리시버트 입니다.

또 일부 신체부위는 다른 부위에 비해 방사선에 취약하다는 사실을 고려했습니다. 예를 들어 동일한 등가선량의 방사선은 간암보다는 폐암을 유발할 가능성이 높으며, 생식기관들은 다른 기관들에 비해 특히 방사선에 취약합니다.

그렇기 때문에 피폭 받은 조직이나 기관의 선량을 비교하기 위해서는, 어느 부위에 피폭되었는지에 따라 등가선량에 가중치를 부가해야 하며 그 결과값을 유효선량이라 부릅니다. 단위는 마찬가지로 시버트(Sv)를 사용합니다. 유효선량은 암 발병 가능성의 지표이긴 하지만, 선량이 높을수록 영향이 얼마나 더 심각한지를 측정하기 위한 방법으로 사용하는 것은 아닙니다.

방사선방호 전문가들이 개인선량을 지속적으로 비교, 기록할 수 있도록 복잡한 방사선량 체계를 일관된 구조로 통일해야 합니다. 개인선량을 지속적으로 비교하는 일은 방사선종사자와 직무피폭자에게 아주 중요합니다.

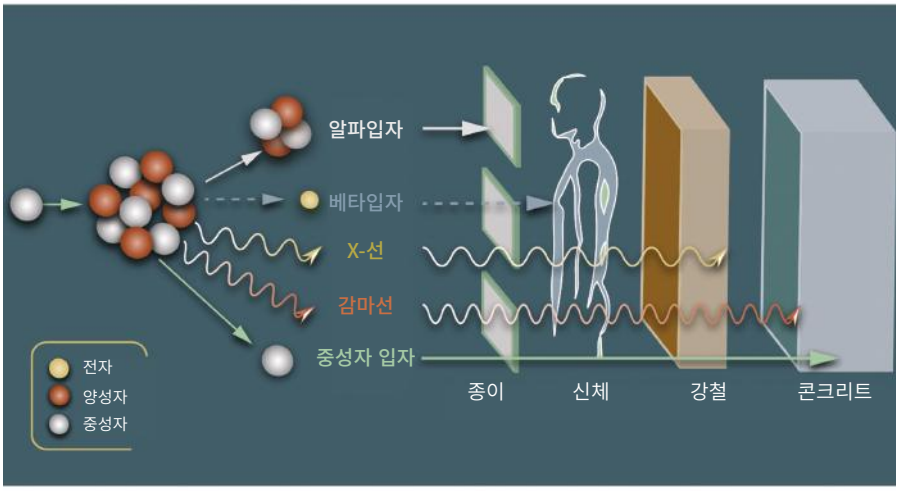
방사선량	
물리적 선량	
방사능	단위 시간 동안 에너지의 핵 변환 수. 초당 붕괴로 측정하며 베크렐(Bq)로 표기
흡수선량	방사선으로 인해 조직이나 기관에 단위 질량 당 축적되는 에너지의 양. 그레이(Gy)로 표기하며 J/Kg에 해당
계산 선량	
등가선량	방사선 종류에 따라 조직이나 기관에 생물학적 피해를 가할 수 있다는 것을 고려한 개념인 방사선인자(WR)를 흡수선량에 곱한 값. 시버트(Sv)로 표기하며 J/Kg에 해당
유효선량	조직이나 기관에 따라 방사선 감수성이 다르다는 것을 고려한 개념인 기관인자(WT)를 등가선량에 곱한 값. 시버트(Sv)로 표기하며 J/Kg에 해당
집단유효선량	방사선에 피폭된 인구 혹은 집단의 모든 유효선량의 합. 인-시버트(man Sv)로 표기

하지만 이는 개인선량만을 설명할 뿐입니다. 집단 내 개인들이 받은 유효선량을 모두 합한 값을 집단유효선량 또는 간단히 집단선량이라고 부릅니다. 단위는 맨-시버트(man-Sv)를 사용합니다. 예를 들어 전 세계의 연간집단선량은 1,900만 맨-시버트이며 1인당 연간 평균선량은 3mSv입니다.

1.3. 방사선의 투과력

간단하게 말해 방사선은 에너지를 지닌 입자(알파, 베타, 중성자)의 형태일 수도 있고 전자기파의 형태(감마선, X-선)일 수도 있습니다. 방사선은 방출하는 에너지와 입자의 종류에 따라 다른 투과력을 지니고 있기 때문에 물질에 미치는 영향이 다릅니다. 알파 입자는 두 개의 양성자와 두 개의 중성자로 이루어져 있기 때문에 모든 종류의 방사선 중 가장 큰 전하를 지닙니다. 전하가 크다는 것은 입자들이 주변의 원자들과 더 넓은 범위에서 상호작용한다는 사실을 의미합니다. 이 상호작용은 입자의 에너지를 급속도로 감소시키기 때문에 입자의 투과력도 저하됩니다. 알파 입자는 종이 한 장만 있어도 막을 수 있습니다. 전자로 이루어진 베타 입자는 알파 입자보다 지닌 전하량이 작기 때문에 투과력도 알파입자보다 높습니다.

방사선의 종류에 따른 투과력



베타입자는 생체조직의 1-2cm 정도를 투과할 수 있습니다. 감마선과 X-선은 투과력이 아주 높아 두꺼운 철판보다 밀도가 낮은 물질이라면 투과할 수 있습니다. 인공적으로 생성되는 중성자는 핵분열 혹은 핵 융합의 결과로 발생하는 불안정한 핵에서 방출됩니다. 중성자는 우주선의 구성요소로써 자연적으로도 생성될 수 있습니다. 중성자는 전기적으로 중성인 입자이기 때문에 물질과 상호작용을 거의 하지 않으며 물질이나 조직에 대해 아주 높은 투과력을 지닙니다.

2. 방사선은 우리에게 어떤 영향을 미치는가?

방사선 피폭으로 인한 영향을 좀 더 자세하게 알아보기 전에 앞에서 언급했던 방사선학의 선구자들을 다시 한 번 살펴보아야 합니다. 앙리 베크렐은 방사능을 발견한 후 얼마 지나지 않아 스스로 방사선의 가장 큰 단점을 겪게 됩니다. 바로 방사선은 생체조직에 영향을 미칠 수 있다는 점 입니다. 그가 유리병에 담아 주머니 속에 넣어 두었던 라듐으로 인해 피부가 손상되었습니다.

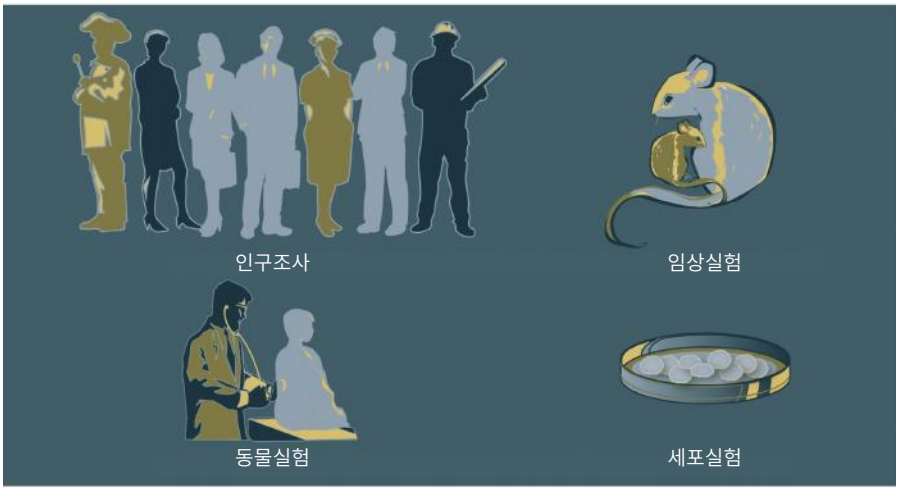
1895년에 X-선을 발견한 빌헬름 콘래드 뢴트겐은 장에 암이 발병하여 1923년에 사망했습니다. 연구를 수행하며 늘 방사선에 피폭되었던 마리 큐리는 혈액질환으로 1934년에 사망합니다.

1950년대 말까지 초기 방사선종사자(주로 의사와 과학자)들은 방사선 방호의 필요성을 알지 못했기 때문에 방사선 피폭으로 인해 최소 359명이 사망했다고 알려져 있습니다.

의료 방사선 전문가들이 방사선 종사자를 의한 권고사항을 최초로 제안했다는 것은 그리 놀라운 일이 아닐 것입니다. 1928년 스톡홀름에서 열린 제2차 국제방사선의학회의 에서 국제 X-선 라듐 방호위원회가 설립되었고 첫 회장은 롤프 시버트가 맡았습니다. 세계 2차 대전 이후에는 의료 분야 이외에 새로운 분야에서도 활용되는 방사선을 고려하여 국제X-선 라듐방호위원회를 재구성하였고 이름을 국제방사선방호위원회로 변경하였습니다. 핵무기가 인체 유전물질에 미치는 영향에 대해 지대한 관심을 가지고 있던 롤프 시버트는 1958년부터 1960년까지 유엔방사선영향과학위원회(UNSCEAR)의 네 번째 회장직을 맡았습니다.

방사선피폭과 관련된 위험성에 대한 의식이 증가함에 따라, 20세기에는 인체와 환경에 미치는 방사선의 영향에 대한 연구가 집중적으로 진행되었습니다. 1945년 세계 2차 대전 말 히로시마와 나가사키에 투하된 원폭으로부터 살아남은 생존자(이하 원폭생존자) 약 86,500명에 대한 연구는, 방사선에 피폭된 인구집단을 평가한 가장 중요한 연구입니다. 뿐만 아니라 피폭된 환자들, 사고(예를 들어 체르노빌 사고)로 인해 피폭된 종사자들, 그리고 실험실에서 연구 목적으로 피폭된 동물과 세포에 대한 연구를 통해 신뢰할만한 데이터를 얻었습니다.

방사선 영향에 대한 정보원



유엔방사선영향과학위원회는 방사선 피폭이 인체와 환경에 미치는 영향에 대한 과학적 정보를 평가하고, 방사선 피폭 정도에 따른 영향을 계산하여 최대한 신뢰할 수 있는 데이터를 확보하기 위해 노력합니다. 앞서 언급했듯이, 방사선 피폭으로 인한 영향은 방사선의 종류, 피폭 받은 기간, 에너지의 크기에 따라 달라집니다. 유엔방사선영향과학위원회는 평가를 위해 10mGy 초과 100mGy 이하는 저선량, 10mGy 미만은 초저선량이라는 용어를 사용하고 있습니다.

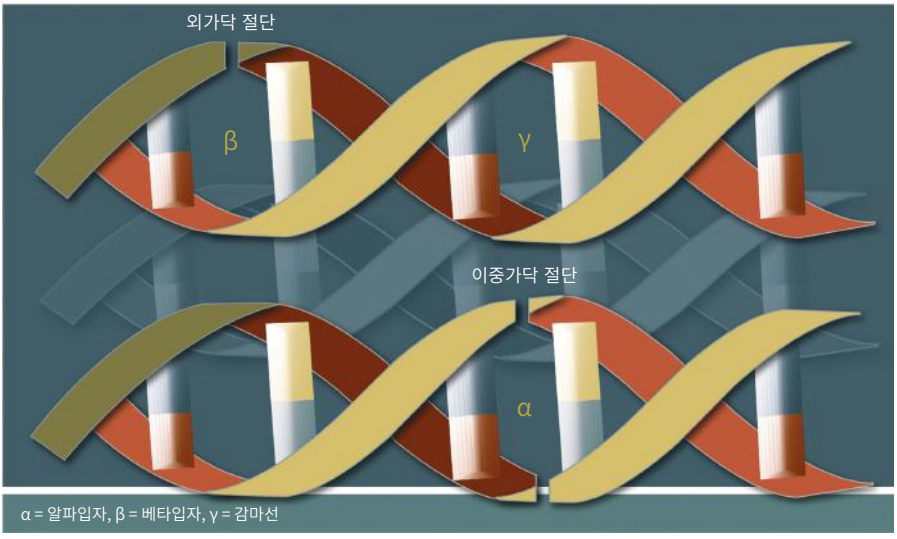
유엔과학위원회가 사용하는 선량 범주

고선량	1Gy 초과	심각한 방사선 사고(예 : 체르노빌 사고 당시 소방관)
중선량	100mGy ~ 1Gy	체르노빌 사고 후 복구종사자
저선량	10mGy ~ 100mGy	다수의 CT 촬영
초저선량	10mGy 미만	일반적인 방사선 촬영(CT 촬영 제외)

2.1. 인체영향

방사선에 대한 연구를 한 세기 이상 진행한 덕분에 방사선이 인체에 영향을 미치는 생물학적 메커니즘에 대한 막대한 정보와 자료가 쌓였습니다. 방사선이 세포 단계에 미칠 수 있다는 사실은 잘 알려져 있습니다. 방사선은 염색체 안에 있는 DNA에 직접 손상을 주어 세포를 죽게 만들거나 변형을 유발합니다. 손상을 받거나 죽은 세포의 수가 많으면 장기에 기능 장애가 발생하거나 심지어 사망에 이를 수도 있습니다. 뿐만 아니라 세포는 죽이지 않지만 DNA에 손상을 야기할 수도 있습니다. 이러한 손상은 대부분 완벽하게 복구되지만 그렇지 않은 경우 세포 돌연변이를 초래해 결국 암을 유발할 수도 있습니다. 변형된 세포가 후손에게 전달되는 유전 세포라면 유전적 장애가 발생할 수도 있습니다. 생물학적 메커니즘과 유전될 수 있는 영향에 대한 정보는 실험연구를 통해 종종 얻기도 합니다.

방사선이 DNA 사슬에 미치는 영향



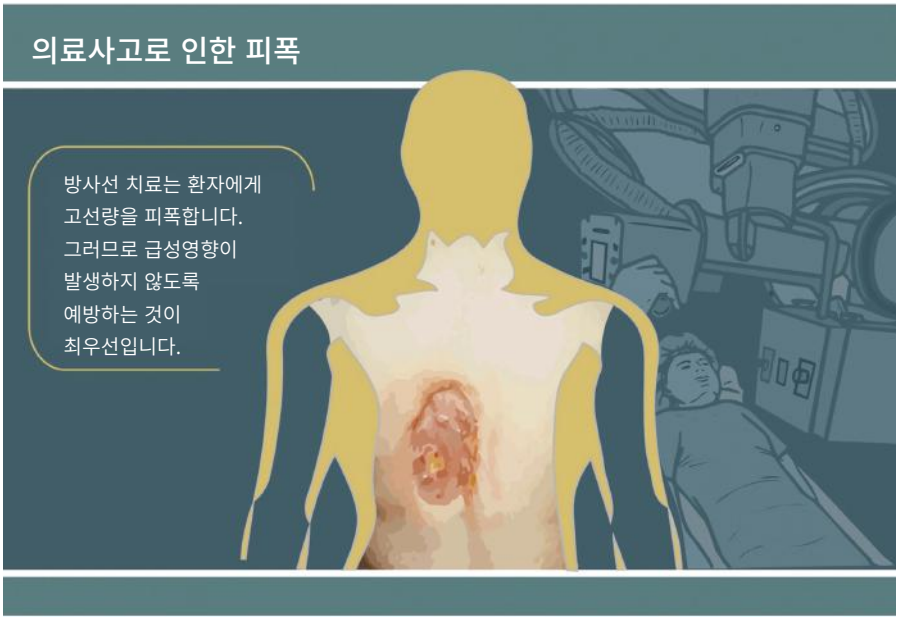
α = 알파입자, β = 베타입자, γ = 감마선

방사선피폭으로 인해 발생하는 건강영향은 관찰을 통해 확인하기 때문에, 여기에서 말하는 건강영향은 초기 혹은 지연성 건강 영향을 의미합니다. 일반적으로 초기 건강 영향은 개개인이 증상을 진단받아 확인할 수 있고, 암과 같은 지연성 건강 영향은 인구 내 발병 증가를 관찰하는 역학연구를 통해 확인합니다. 이 책자 에서는 특히 어린이, 배아, 태아에 대한 영향과 유전될 수 있는 영향들에 대해 집중하여 다룰 것입니다.

초기건강영향

초기 건강영향은 막대한 세포 사망/손상으로 인해 발생합니다. 예를 들어 화상, 탈모, 불임 등이 있습니다. 이러한 초기 건강 영향이 발생하려면 상당히 높은 문턱값을 초과한 방사선량에 피폭되어야 합니다. 영향의 심각성은 문턱값을 초과한 선량이 클수록 증가합니다.

일반적으로 50Gy가 넘는 급성피폭선량은 중추신경계에 손상을 입혀 수일 내에 사망에 이르게 할 수 있습니다. 심지어 8Gy 보다 낮은 선량에서도 급성방사선증후군으로 알려진 방사선관련 증상들이 나타나곤 합니다. 구역질, 설사, 장 경련, 유연증, 탈수, 피로, 냉담, 무기력증, 발한, 고열, 두통, 저혈압 등이 그 예 입니다. 급성이라는 용어는 피폭 후 어느 정도 시간이 지난 뒤 의학적 문제가 발생하는 것이 아니라 피폭 후 1-2주 정도 생존한 뒤 사망할 수도 있습니다. 보다 낮은 선량에 피폭된 경우, 위장은 손상 받지 않았을 수도 있지만 적색골수 손상을 입어 수개월 뒤에 사망할 수도 있습니다. 물론 낮은 선량에서는 질병과 증상이 늦게 나타나며 증상도 덜 심각합니다. 2Gy의 선량을 피폭 받은 사람들 중 약 절반이 3시간 내에 구토를 하지만 1Gy 미만의 선량을 피폭 받은 사람 중에서는 구토 증상이 나타나는 경우가 거의 없습니다.



적색골수와 혈액을 생성하는 기관에 1Gy 미만의 선량을 피폭 받은 경우, 신체의 뛰어난 재생능력 덕분에 완벽히 회복되는 행운이 있을 수도 있습니다. 신체의 일부만 피폭된 경우는 손상 받지 않은 골수가 충분하기 때문에 손상 받은 골수를 대체할 수 있습니다. 골수의 단 10%만 방사선 피폭을 피했다고 하더라도 생존확률은 100%라는 사실을 동물실험을 통해 알 수 있습니다.

암 치료의 한 방법으로 알려진 방사선 치료는 방사선이 세포의 DNA를 손상시킬 수 있다는 사실을 이용하여, 방사선을 계획적으로 사용해 악성세포를 죽이는 것입니다. 방사선 치료에 사용되는 총 방사선량은 암의 종류와 정도에 따라 달라집니다. 일반적으로 고형암 치료의 경우 20-80Gy를 종양에 조사합니다. 물론 환자가 단일 선량으로 20 – 80Gy를 피폭 받는 다면 위험할 수 있습니다. 그렇기 때문에 안전한 치료를 위해 단일 피폭선량을 최대 2Gy로 제한하고 여러 차례 반복 치료합니다. 여러 차례 치료를 반복하는 동안 정상 조직들은 회복하는 반면 종양세포들을 죽습니다. 이는 일반적으로 종양 세포들은 방사선 피폭 후 재생의 효율이 정상세포에 비해 떨어지기 때문입니다.

지연성 건강영향

지연성 건강영향은 피폭 후 오랜 시간이 지난 뒤 발생합니다. 일반적으로 대부분의 지연성 건강영향은 확률론적 영향입니다. 즉, 영향의 발생확률이 피폭 받은 방사선량에 의존한다는 것입니다. 지연성 건강 영향이 발생하는 이유는 세포의 유전물질이 방사선 피폭으로 인해 변형되기 때문이라고 생각됩니다. 지연성 건강영향의 예로는 피폭 받은 사람에게 발병하는 고형암과 백혈병이 있고, 피폭받은 사람의 자손들에게서 나타나는 유전적 장애가 있습니다. 높은 선량에 피폭 받을수록 지연성 건강 영향의 발생 빈도는 증가하는 경향을 보이지만 영향의 심각성과는 무관합니다.

역학조사는 방사선 피폭 후 나타나는 지연성 건강영향을 이해하는 데 매우 중요합니다. 역학조사는 피폭 받은 집단 내에서 발생하는 건강 영향(예를 들어 암)과 피폭 받지 않은 집단 내에서 발생하는 건강 영향을 통계적으로 비교, 분석합니다. 만약 피폭 받은 집단에서 유의한 증가가 발견되는 경우, 해당 건강 영향과 방사선 피폭사이에 연관성이 있을 수 있다고 판단합니다.

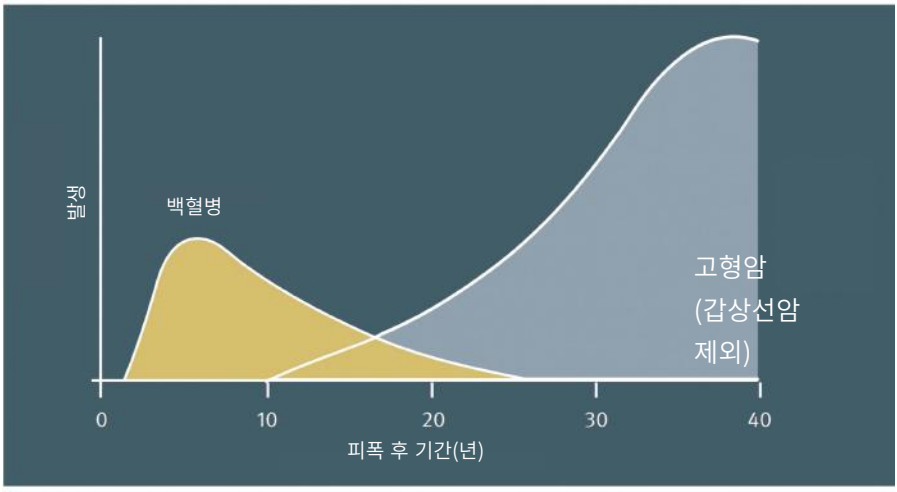
방사선 피폭 집단을 장기적으로 평가하는 연구 중 가장 중요한 연구는 원폭 생존자들에 대한 역학조사 입니다.

대상인원이 많고, 특히 집단 내에서도 피폭 선량의 차이가 크며 전신에 균일하게 피폭 받은 집단을 연구하는 가장 광범위한 연구이기 때문 입니다. 원폭 생존자들의 피폭선량은 비교적 잘 알려져 있습니다. 지금까지의 연구를 통해 밝혀진 바로는, 피폭을 받지 않았더라면 발생하지 않았을 암이 수백 건 발생했습니다. 아직 많은 원폭 생존자들이 생존해 있기 때문에 평가를 완료하기 위한 연구가 계속되고 있습니다.

암

암은 치사율이 20%에 이르며 선진국에서 심혈관 질환 다음으로 가장 흔한 사망요인입니다. 일반적으로 방사선피폭이 없더라도 약 40%의 인구가 일생 동안 암에 걸릴 수 있습니다. 최근 남성에게서 가장 흔한 암은 폐암, 전립선암, 대장암, 위암, 간암이며 여성에게는 유방암, 대장암, 폐암, 자궁경부암, 위암입니다.

방사선 피폭 후 암 발생



암 발병은 복잡한 과정을 거치며 여러 단계가 있습니다. 단일 세포에 영향을 미치는 초기 현상이 나타나며 암이 발병되는 것처럼 보이지만 세포가 악성이나 종양으로 변화하기까지에는 일련의 단계가 존재합니다. 암은 초기 손상후 오랜 잠복기를 거쳐야만 확실히 나타납니다. 방사선피폭으로 인한 암 발병 확률이 가장 주된 관심사이며, 통계나 다른 불확실성을 배제해도 될 정도의 고 준위 방사선에 피폭된 집단에 대해서는 암 발병 확률을 계산할 수 있습니다. 하지만 방사선이 실제 원인으로써 얼마나 영향을 미치는 지는 여전히 명확하지 않습니다.

백혈병, 갑상선암, 뼈암은 방사선에 피폭 후 수 년 안에 최초 발생하지만, 대부분 다른 종류의 암들은 피폭 후 최소 10년, 일반적으로는 수 십 년 뒤 발생합니다. 그렇지만 방사선 피폭으로 인해서만 발생하는 암은 없기 때문에 다른 원인으로 발병한 암과 방사선 피폭으로 인해 발병한 암을 구별하는 것은 불가능 합니다. 그럼에도 불구하고 선량에 따른 암 발병확률을 예측하는 것이 중요한 이유는, 과학적으로 올바른 근거를 토대로 피폭한도를 설정하기 위함입니다.

방사선치료를 받은 환자, 직업상 피폭을 받은 종사자, 원폭 생존자들에 대한 연구를 통해 방사선 피폭과 암의 상관관계에 대한 기본지식이 형성되었습니다. 이러한 연구들은 인체 여러 부위에 피폭을 받은 사람들 다수와 피폭 후 상당히 오랜시간이 지난 다수의 사람들을 대상으로 진행되었습니다. 하지만 일부 연구는 일반 인구와 다른 연령분포를 가지고 있거나, 방사선 피폭 전부터 건강상 문제가 있던 환자들을 대상으로 했거나, 이미 암 치료를 위해 피폭 받은 환자라는 큰 문제점들이 있습니다.

보다 근본적으로는 거의 모든 데이터가 상당한 고선량인 1Gy 이상에 단일 피폭 혹은 단 기간에 피폭 받은 사람들로부터 나왔다는 점이 문제입니다. 저선량을 장기간 피폭 받은 경우의 영향에 대한 정보가 매우 부족합니다. 방사선작업종사자가 일반적으로 받는 선량으로 인해 발생하는 영향에 대해서만 연구결과가 조금 있을 뿐이고, 일반 대중이 일상에서 피폭 받는 선량으로 인한 결과에 대한 직접적인 정보는 실질적으로 없습니다. 다수의 사람들을 대상으로 장기간 조사하는 연구는 필요하지만, 방사선의 영향이 너무나 작기 때문에 방사선으로 인해 증가한 암 발병률과 기준 암 발병률을 비교했을 때 차이를 구분할 수 없을 것입니다.

유엔방사선영향과학위원회는 방사선에 피폭 받은 사람들의 암 발병과 관련된 방대한 조사를 실시하였습니다. 조사 결과 피폭 받은 방사선량이 100mSv를 초과하는 경우, 암으로 사망할 가능성이 Sv 당 3-5%정도 증가하는 것으로 나타났습니다.

다른 건강 영향

심장에 고선량 방사선을 피폭 받을 경우 심혈관질환(예:심장마비)의 가능성이 증가합니다. 최신 방사선 치료 기술이 심장에 미치는 선량을 낮추어주기는 했지만, 방사선 치료 도중 심장에 고선량을 피폭 받는 경우가 발생할 수 있습니다. 하지만 저선량 피폭이 심혈관 질환을 야기한다는 과학적 증거는 없습니다.

유엔방사선영향과학위원회는 체르노빌 긴급작업종사자들에게 고선량 피폭과 연관된 백내장 발병이 증가했다는 것을 인지하였습니다. 또한 유엔방사선영향과학위원회는 원폭생존자, 체르노빌 긴급작업 종사자, 방사선 치료환자를 대상으로 한 연구를 통해 방사선이 인간의 면역체계에 미치는 영향을 연구했습니다. 방사선이 면역체계에 미치는 영향을 확인하기 위해 세포 개수의 변화를 확인하거나 다양한 기능분석을 평가하기도 했습니다. 고선량 방사선은 림프구에 손상을 입혀 면역체계를 억제시킵니다. 현재 급성피폭선량을 평가하는 초기 지표로 림프구의 감소량을 사용합니다.

자손에게 미치는 영향

방사선이 정자나 난자 같은 생식세포에 영향을 입힌 경우, 자손에게 유전되는 영향이 발생할 수 있습니다. 게다가 방사선은 배아나 태아에 직접 손상을 입힐 수도 있습니다. 피폭 받은 대상이 성인인지, 어린이인지, 배아나 태아인지 구분하는 것은 아주 중요합니다. 유엔방사선영향과학위원회는 유전될 수 있는 영향을 포함한 건강영향에 대하 포괄적인 연구를 진행해 왔습니다.

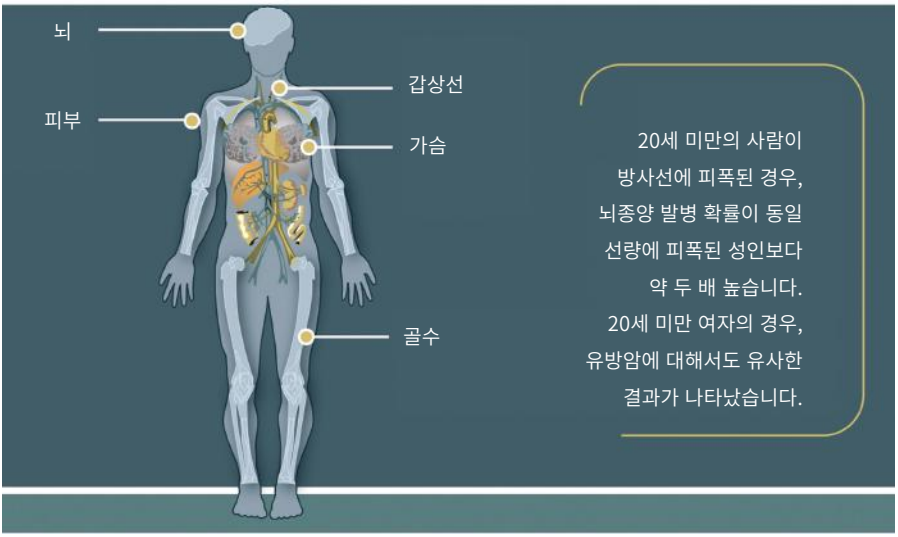
어린이들에게 미치는 영향

인체 건강영향은 수많은 물리적 요소에 따라 결정됩니다. 어린이와 성인은 해부학적, 생리학적으로 차이가 있기 때문에 방사선 피폭의 영향이 다릅니다. 더욱이 어린이들은 성인에 비해 몸집이 작고 방호역할을 해줄 조직이 적기 때문에 동일한 양의 피폭을 받더라도 성인에 비해 내부 장기가 더 높은 선량에 피폭됩니다. 또 어린이들은 성인보다 신장이 작기 때문에 토양에 축적된 방사성핵종으로부터 더 높은 선량을 받을 수도 있습니다.

내부피폭에 대해 말하자면 어린이들은 몸집이 작고 장기들이 가까이 모여 있어 한 장기에 축적된 방사성핵종이 다른 장기를 피폭하는 양이 성인보다 많습니다. 이 외에도 나이에 따라 선량에 큰 차이가 발생하는 이유로는 신진대사, 생리학적 요인 등 다양한 요인들이 있습니다. 몇 몇 방사성 핵종들은 내부피폭 때문에 어린이들이 특히 주의해야 합니다 방사성요오드-131이 유출된 사고들은 갑상선 피폭의 주요 원인이 될 수 있습니다. 동일한 섭취량에 대해 유아의 갑상선 피폭선량은 성인의 갑상선 피폭선량에 약 9배에 달합니다. 체르노빌 사고에 대한 연구는 갑상선암과 대부분 갑상선에 축적되는 요오드-131 사이의 상관관계를 다시 한 번 확인시켜 주었습니다.

역학연구를 통해 동일한 방사선 피폭에 대해 백혈병에 걸릴 확률은, 20세 미만이 성인에 비해 약 두 배 높다는 것이 밝혀졌습니다. 또 10세 미만의 어린이는 감수성이 아주 높습니다. 일부 연구에서는 백혈병으로 사망할 확률이 성인에 비해 3-4배 높다고 밝혀졌습니다. 또 다른 연구에서는 20세 미만의 여성이 피폭 받은 경우 유방암 발병확률이 약 두 배 높아진다는 것이 확인되었습니다. 어린이들은 성인에 비해 피폭 후 암 발병 확률이 높지만 일반적으로 암이 발병하는 나이대가 되어서야 발병할 수도 있습니다.

어린이의 경우 방사선감수성이 특히 높은 장기

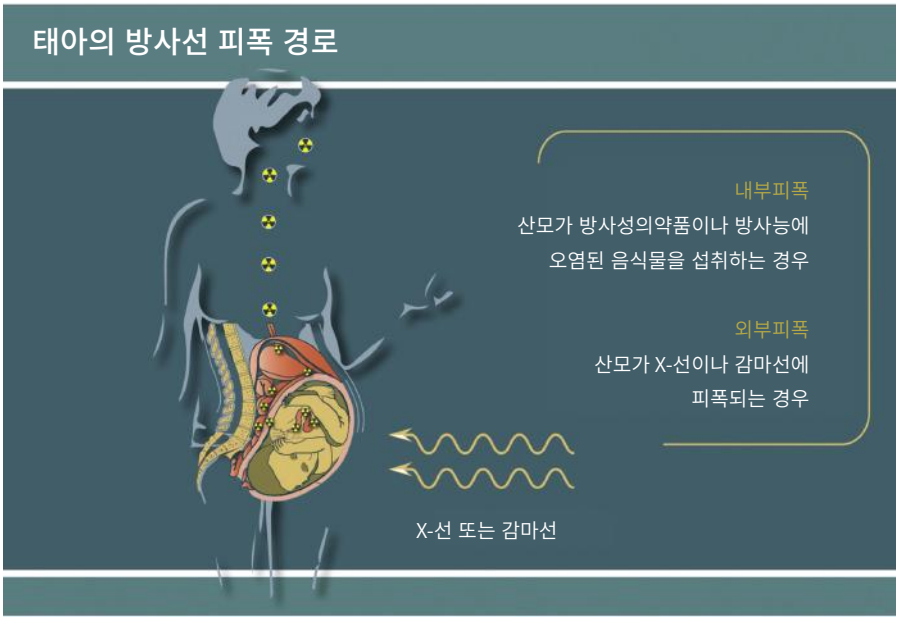


유엔방사선영향과학위원회는 성인보다 어린이들에게 암이 더 다양하게 발생하며 종양의 종류, 나이, 성별에 따라 발생 정도가 달라진다는 과학적 논문들을 검토해 왔습니다. 암 유발에 관해 방사선감수성차이에 대한 연구를 통해 어린이들이 성인보다 갑상선, 뇌, 피부, 유방암, 백혈병 발병에 감수성이 높다는 사실이 밝혀졌습니다.

고선량 방사선 피폭(방사선 치료 등)후 어린이들에게 나타나는 초기 건강영향과 성인에게 나타나는 초기 건강 영향의 차이는 다양하고, 이는 조직 사이의 반응과 생물학적 메커니즘으로 설명할 수 있습니다. 피폭의 영향 중 일부(예를 들어 뇌질환, 백내장, 갑상선 결절)는 어른보다 어린이에게 보다 더 명확하게 나타납니다. 하지만 몇몇 영향의 경우는 어린이의 조직(폐와 난소)이 어른의 조직보다 내성이 큽니다.

태어나지 않은 아이에 대한 영향

배아나 태아는 산모가 섭취한 음식물에 들어있는 방사성물질로 인해 피폭(내부피폭) 받을 수도 있고 직접 외부피폭을 받을 수도 있습니다. 태아는 자궁 내에서 보호받기 때문에 대부분 산모보다 피폭 선량이 낮은 경향이 있습니다. 하지만 배아와 태아는 방사선에 극도로 민감하고, 산모에게는 피해가 없는 선량이더라도 배아와 태아는 피폭으로 인한 피해가 심각할 수 있습니다. 발달장애, 기형, 뇌 기능 장애, 암 등이 나타날 수 있습니다.



포유류가 자궁에서 성장하는 과정은 대략 세 단계로 구분됩니다. 첫 단계의 자궁 내 배아는 방사선으로 인해 죽을 수도 있다는 것은 잘 알려져 있습니다. 첫 단계는 수정부터 자궁벽에 착상하는 기간까지며 인간의 경우 임신 2주차까지의 기간입니다. 이 단계에서 무엇이 일어나는지를 연구하는 것은 매우 어렵지만, 동물 실험을 통해 밝혀진 바로는 문턱값을 넘는 방사선량에 피폭된 초기 배아는 죽는다는 것이 밝혀졌습니다.

인간의 경우 임산 2주차에서 8주차인 다음 단계에서 조심해야 할 가장 큰 위험은, 방사선으로 인해 성장하는 장기에 기형이 발생하고 그로 인해 태어날 즈음 태아가 사망하는 것입니다. 특정 장기(예를 들어 눈, 뇌, 뼈)는 성장하는 시점에 방사선 피폭을 받을 경우 기형 발생이 특히 잘 일어난다는 사실이 동물 실험을 통해 밝혀졌습니다.

세 번째 단계이자 마지막 단계인 임신 8주 이후에는 중추 신경계에 막대한 손상이 나타나는 것으로 보입니다. 방사선피폭이 아직 태어나지 않은 아이의 뇌에 미치는 영향에 대한 정보는 많이 확보되어 있습니다. 예를 들어 태어나기 전 원폭으로 인해 1Gy의 선량에 피폭 받은 1,600명 중 30명은 심각한 지능 장애가 있었습니다.

배아 때 받은 방사선 피폭으로 인해 살아가면서 암에 걸릴지에 대한 논란이 끊임없이 제기되어 왔지만, 동물 실험을 통해 어떠한 상관관계도 밝혀내지 못했습니다. 유엔방사선영향과학위원회는 방사선 피폭이 아직 태어나지 않은 아이에게 미치는 수많은 영향들(사망, 기형, 지능장애, 암 등)에 대한 종합적인 위험성을 평가하위 위해 노력하고 있습니다. 자궁 속에서 10mSv에 피폭된 아이 1,000명 중 최대 2명은 방사선의 영향을 받을 수도 있습니다. (자연적으로 동일한 영향이 발행하는 확률은 6% 입니다.)

유전영향

방사선은 자손에게 유전 정보를 전달하는 세포를 변형시켜 유전 장애를 유발할 수도 있습니다. 방사선으로 인해 발생하는 유전될 수 있는 영향에 대한 전체 정보는 몇 세대가 지나야 얻을 수 있고, 암과 같은 영향의 경우에는 방사선 외의 요인으로 발생하는 영향과 구분하기 어렵습니다. 그렇기 때문에 방사선이 유발하는 유전 장애를 연구하는 것은 매우 어렵습니다.

방사선으로 인해 심각한 영향을 받은 배아와 태아는 대부분 살아남지 못합니다. 유산된 태아의 절반 정도는 비 정상적인 유전 구성을 가지고 있었던 것으로 추정됩니다. 만약 태어났다고 하더라도 유전 장애가 있는 아이는 정상적인 아이에 비해 5세 이전에 사망할 확률이 약 5배 높습니다.

유전 영향은 크게 염색체 숫자나 구조의 변형을 포함하는 염색체 이상과 유전자 자체의 돌연변이로 나눌 수 있습니다. 다음 세대에 나타날 수도 있지만 반드시 나타나는 것은 아닙니다.

원폭 생존자들의 자녀에 대한 연구에서 유전될 수 있는 영향은 확인되지 않았습니다. 물론 방사선으로 인한 손상이 없다는 이야기는 아닙니다. 단지, 상당수의 피폭 받은 사람들을 보더라도 보통 수준의 방사선 피폭을 받는 것만으로는 눈에 띄는 영향이 나타나지 않는 다는 것입니다. 하지만 식물과 동물을 고선량에 피폭시킨 실험을 통해 방사선은 유전될 수 있는 영향을 유발할 수 있다는 사실이 명백히 입증되었습니다. 사람만 예외가 될 가능성은 낮습니다.

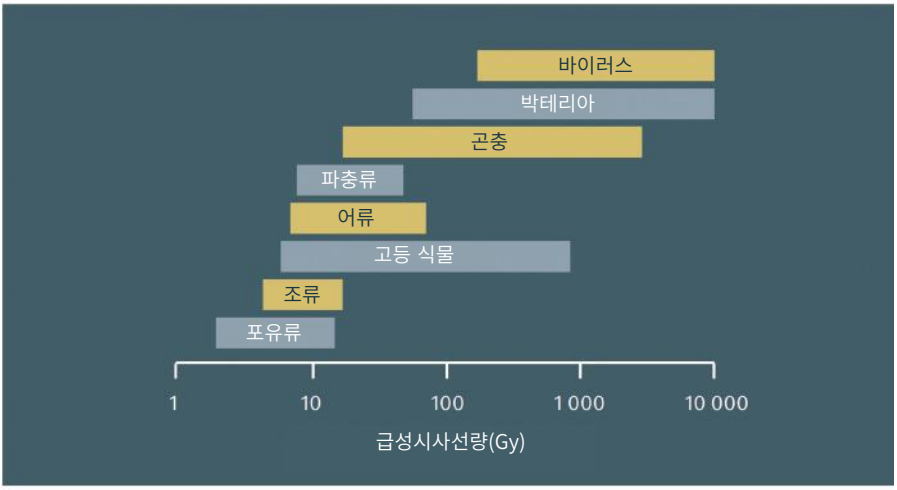
유엔방사선연향과학위원회는 심각한 유전영향에 대해 집중해 왔으며 방사선 피폭 후 첫 세대에 심각한 유전영향이 발생할 위험성은 Gy 당 0.3-0.5% 정도로 치명적 암 발병확률의 1/10도 되지 않는 것으로 평가하고 있습니다.

2.2. 동물과 식물에 미치는 영향

동물과 식물에 방사선 피폭이 미치는 영향에 대한 관심이 이전보다 커지고 있습니다. 과거 수십년간, 인간을 충분히 방호하는 수준이라면 동물과 식물도 유사한 수준으로 방호할 것이라는 견해가 지배적이었습니다. 유엔방사선영향과학위원회는1-10Gy의 이론적인 선량범위에서는 동물과 식물 집단 수준에서의 영향은 거의 없을 것이며 개체 수준에서의 방사선에 대한 반응 차이가 있다고 평가하고 있습니다.(모든 동물 중에서 포유류가 방사선에 가장 민감합니다.) 집단수준에서는 번식, 폐사, 돌연변이의 유도 등을 중요한 영향으로 볼 수 있습니다. 새끼의 수와 같은 번식의 변화는 폐사보다 더 민감한 방사선영향 지표 입니다.

치사선량은 피폭 받은 대상의 50%가 사망하는 선량을 의미합니다. 식물의 치사선량은 상대적으로 단시간 방사선에 피폭 되는 경우(급성)10Gy 이하에서 약 1,000Gy까지의 범위로 알려져 있습니다. 일반적으로 큰 식물 일수록 방사선감수성이 높습니다. 작은 포유류의 경우 6-10Gy 이며 큰 포유류의 경우 약 2.5Gy입니다. 일부 벌레, 박테리아, 바이러스의 경우 1,000Gy 이상도 버틸 수 있습니다.

동식물의 급성치사선량 범위



방사선에 피폭된 체르노빌 원전 주변의 동물과 식물을 관찰하여 주요 정보들을 수집하였습니다. 유엔방사선영향과학위원회는 환경이 피폭된 경로를 평가하고, 피폭의 잠재적인 영향을 평가하는 새로운 방식을 개발했습니다.

최근 유엔방사선영향과학위원회는 후쿠시마 제1원전 사고 후 동식물이 받은 선량을 예상하고 관련된 영향을 평가했습니다. 전반적으로 피폭선량이 너무 낮아 급성영향을 확인할 수 없다는 결론을 내렸습니다. 하지만 포유류의 경우 특정 질병의 지표 혹은 생물체의 생리적 상태를 보여주는 바이오마커의 변화를 확인하였습니다. 그러나 생물체의 개체수 보전에 바이오마커가 얼마나 중요한지는 불명확합니다.

인간의 방사선 피폭을 줄이기 위한 방호, 치료 조치가 광범위한 영향을 미칠 수 있다는 사실을 인지하는 것이 중요합니다. 예를 들어 환경재와 환경서비스, 농업, 임업, 수산업, 관광업에 사용되는 자원들, 정신, 문화, 오락활동에 사용되는 편의시설에 영향을 미칠 수 있습니다.

2.3. 방사선량과 영향과의 관계

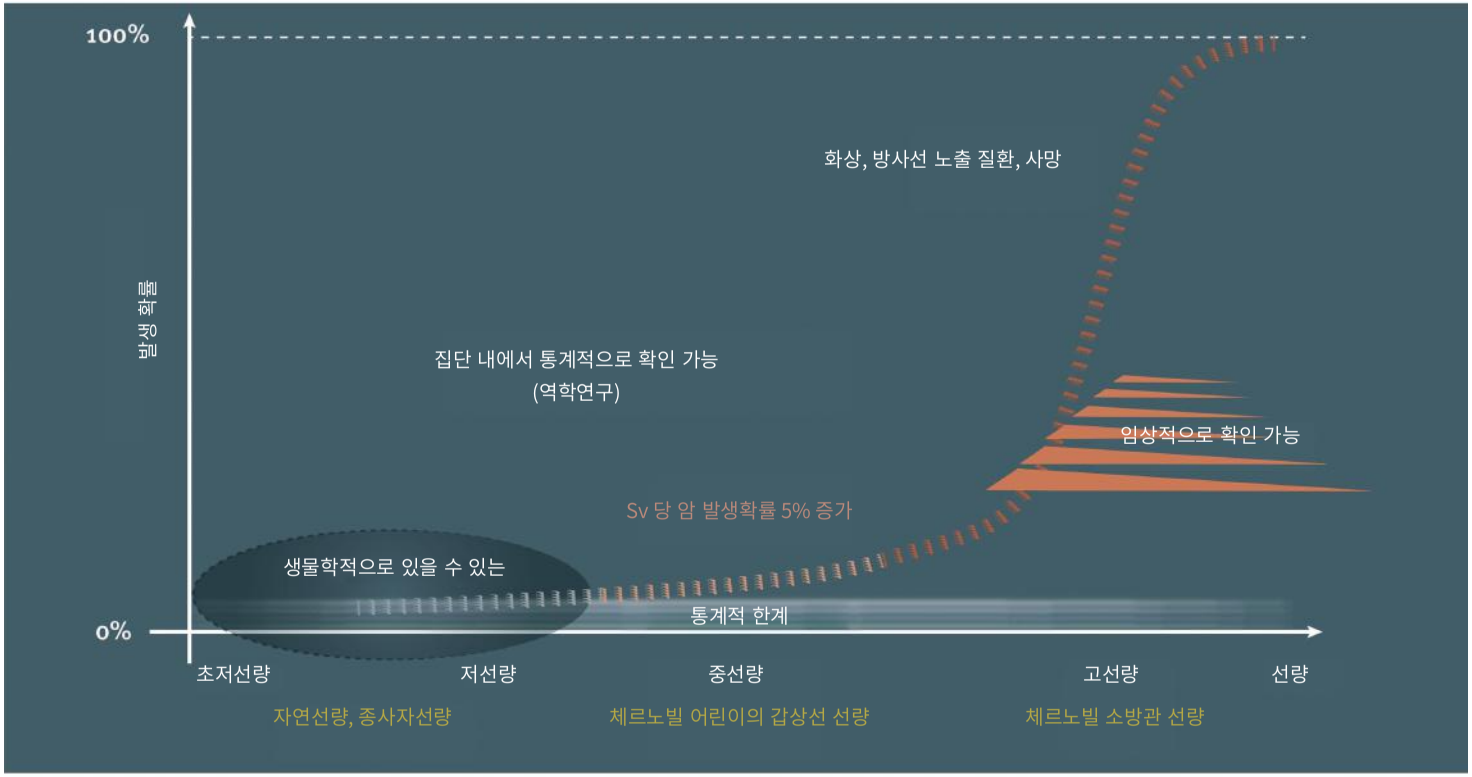
유엔방사선영향과학위원회는 방사선량과 건강 영향에 대한 상관관계를 정리하며, 피폭된 집단에 나타난 건강영향을 확인하는 것과 미래에 일어날 수도 있는 이론적 영향을 예측하는 것을 구분하는 것이 중요하다고 강조합니다. 두 경우 모두 방사선 측정, 통계적 고려사항 혹은 다른 원인으로 인해 존재하는 불확실성과 부정확성을 고려하는 것이 중요합니다.

현재의 지식으로는 1Gy이상의 고선량에 피폭된 개인에게 초기영향(예: 피부 화상)이 확인되면 방사선으로 인한 영향이라는 것이 확실합니다. 1Gy 이상의 선량은 사고 상황에서 나타날 수 있습니다. 예를 들면 체르노빌원전 사고 긴급작업 종사자들이나 방사선 치료 중인 환자가 받았던 선량입니다.

역학조사를 통해 중선량 피폭을 받은 집단에게 지연성 건강 영향이 모든 불확실설을 고려하더라도 현저히 많이 나타날 경우 방사선으로 인한 영향임을 확인할 수 있습니다. 그러나 현재까지는 방사선 때문에 암이 발생하는지 다른 요인으로 인해 발생하는지를 구분하는 바이오마커는 없습니다.

자연선량과 직무 피폭처럼 방사선 피폭 준위가 낮거나 매우 낮은 경우, 지연성 건강 영향의 발생에 차이가 생기는지 확인된 바는 없습니다. 그렇지만 아예 가능성을 배제할 수는 없습니다.

방사선량과 건강 영향 사이의 상관관계



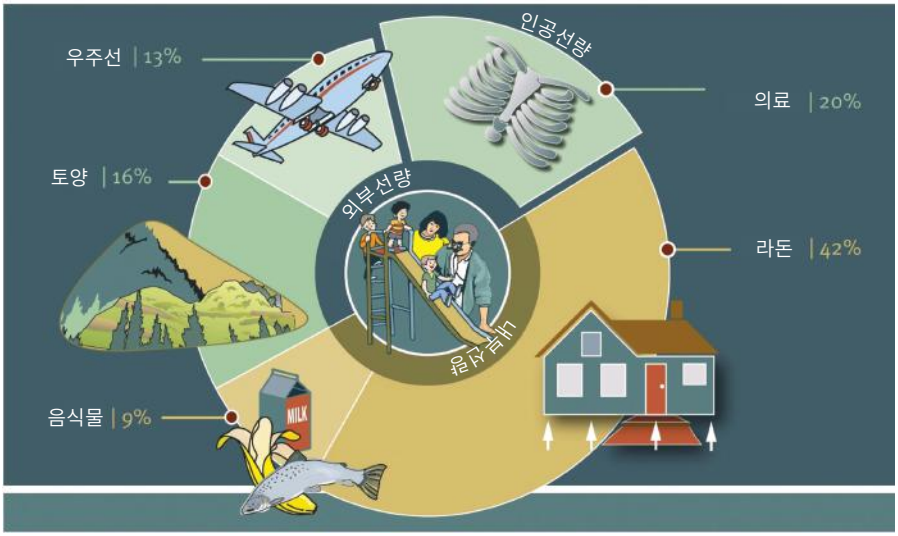
고선량, 중선량 피폭을 받은 경우 미래에 발생할 수 있는 건강 영향의 확률을 예측하는 방법이 알려져 있습니다. 그러나 저선량, 초저선량 피폭을 받은 경우 가정을 세우고 수학적 모델을 사용하여 건강영향의 확률을 예측해야 하는 데다가 그 결과 값은 매우 불확실합니다. 이러한 이유로 유엔방사선영향과학위원회는 체르노빌과 후쿠시만 제1원전 사고로부터 방출된 저선량, 초저선량 방사선으로 인해 발생하는 건강 영향 건수나 사망자 수를 예측, 평가하는 목적으로 수학적 모델을 사용하지 않기로 하였습니다. 왜냐하면 받아들일 수 없는 불확실성이 너무나 많기 때문입니다. 하지만 불확실성을 고려한 수학적 모델을 사용하고 그 한계를 명확히 설명한다면, 공중보건과 방사선방호 목적으로는 유용할 수 있습니다.

3. 방사선은 어디에서 오는가?

우리는 지속적으로 다양한 선원에서 발생된 방사선에 피폭 받고 있습니다. 지구상의 모든 생물종들은 자연방사선에 의해 피폭 받으며 살아왔고 진화해 왔습니다. 최근 들어 인간과 다른 생명체들은 지난 세기에 개발된 인공선원에 피폭 받고 있습니다. 80% 이상의 피폭이 자연선원으로부터 발생하며 단 20%의 피폭만이 인공선원으로부터 발생하는 데 이 중 대부분은 의료방사선입니다. 본 책자는 방사선 피폭을 선원의 종류에 따라 분류하고 일반 대중들이 어떤 피폭을 받는지에 대해 초점을 맞추고 있습니다. 방사선 피폭은 규제목적(예: 방사선방호)에 따라 집단별로 다루어야 합니다. 그래서 의료용 방사선에 피폭된 환자들과 직무상 피폭 받은 사람들에 대한 정보는 추가적으로 제공되어 있습니다.

방사선 피폭을 분류하는 다른 방법으로는 방사선에 어떻게 피폭되는지에 따라 분류할 수 있습니다. 환경 속 방사성물질과 방사선으로는 인체 외부로부터 피폭을 받습니다. 공기 중에 있는 방사성물질을 흡입하거나, 음식물 속에 있는 방사성물질을 섭취하거나, 피부나 상처를 통해 몸 속으로 방사성물질이 들어와 인체 내부에서 피폭이 일어납니다. 전 세계적으로 고려하면, 내부와 외부피폭 선량은 거의 동일합니다.

전 세계 방사선 피폭 분포

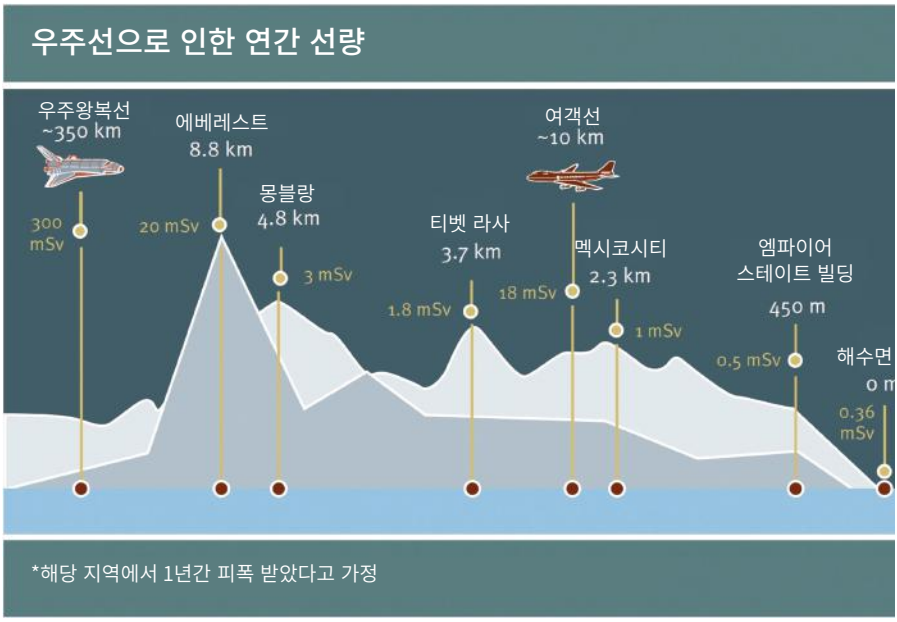


3.1. 자연 선원

지구가 생겨났을 때부터 지구는 우주로부터 오는 방사선과 지각과 핵에 존재하는 방사성물질이 방출하는 방사선에 노출되어 왔습니다. 이러한 자연선원으로부터 발생하는 방사선을 피할 수 있는 방법은 없으며, 전 세계 인구가 받는 방사선 피폭 중 가장 많은 부분을 차지합니다. 전 세계 1인당 연 평균 선량은 2.4mSv이며, 거주하는 지역에 따라 약 1mSv에서 10mSv이상의 유효선량을 받습니다. 건물 자체가 방사성가스인 라돈을 가두어 두고 건물 자재에 방사성핵종이 있기도 하기 때문에 건물 내에 있으면 방사선 피폭이 증가합니다. 자연선원으로 인한 피폭선량은 어디서 어떻게 생활하는가와 무엇을 먹고 마시는가에 따라 달라질 수 있습니다.

우주선

자연선원 중 외부피폭의 가장 큰 비중을 차지하는 것은 우주선 입니다. 대부분의 우주선은 성간 공간에서 발생하며, 일부는 태양 폭발이 일어날 때 태양에서 방출되기도 합니다. 우주선은 지구를 직접 피폭시키며 대기와 반응하여 여러 종류의 방사선과 방사성물질을 만들어 냅니다. 우주선은 우주 공간의 가장 주된 방사선원입니다. 지구의 대기와 자기장이 우주선을 상당히 줄여주긴 하지만 특정지역은 다른 곳보다 피폭을 더 많이 받습니다. 우주선은 남극과 북극의 자기장으로 인해 방향이 바뀌기 때문에 남극과 북극이 적도 지역보다 피폭을 많이 받습니다.



게다가 고도가 높아 질수록 방호역할을 해주는 공기가 줄어들기 때문에 피폭 준위가 높아집니다. 그래서 해수면 높이에 거주하는 사람들은 우주선으로부터 연평균 0.3mSv(총 자연선량의 약 10-15%)의 유효선량을 받습니다. 해발 2,000m에 거주하는 사람들은 이보다 몇 배는 높은 선량에 피폭됩니다. 여객기 승객들은 고도뿐만 아니라 비행시간에 따라서도 우주선에 의한 피폭선량이 달라집니다. 예를 들어 일반 비행고도로 10시간 비행 시 평균유효선량은 0.03-0.08mSv입니다. 다시 말해, 뉴욕-파리 왕복 비행시 승객은 약 0.05ms를 피폭 받습니다. 이는 일반 흉부 X-선 1회 촬영 시 받는 유효선량과 거의 동일합니다. 비행 시 각 승객이 받는 유효선량은 낮지만 승객의 수가 많고 전 세계적으로 비행횟수가 많기 때문에 집단선량은 꽤 높습니다.

직장에서의 피폭

비행이 잦은 조종사, 승무원에게 우주선은 특히 중요합니다. 왜나하면 우주선에 피폭 받는 선량이 연평균 2-3mSv에 달하기 때문입니다. 우주 비행 임무를 수행하며 받는 선량도 평가되었습니다. 단기간 우주 비행 임무의 경우 태양활동에 따란 2-27mSv를 피폭 받습니다. 350km 상공에서 지구를 도는 국제우주정거장(ISS)에서 4개월간 임무를 수행한 우주인이 받는 유효선량은 약 100mSv 입니다.

지각선량

토양

지구 상, 지구 속 모든 물체들은 원시 방사성핵종을 함유하고 있습니다. 칼륨-40, 우라늄-238, 토륨-232와 같이 아주 오랜 기간 존재한 방사성핵종들은 땅 속에서 발견되며 라듐-226, 라돈-222와 같이 붕괴된 형태도 같이 발견됩니다. 이러한 방사성핵종들은 지구가 현재의 형태를 갖추기도 전부터 방사선을 방출해 왔습니다. 유엔방사선영향과학위원회는 지각선원으로부터 받는 연평균 유효선량은 전 세계적으로 개인당 약 0.48mSv로 평가합니다.

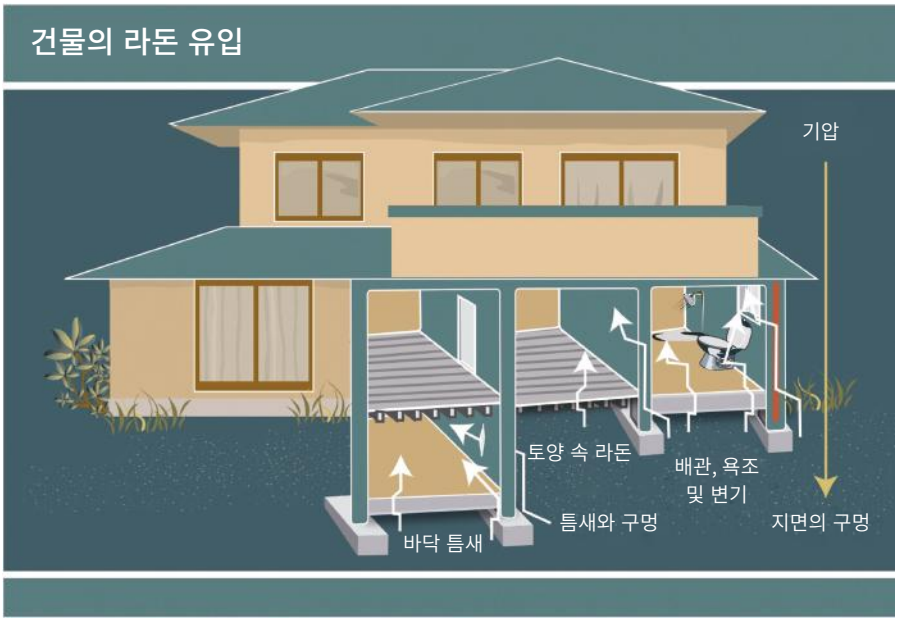
외부피폭은 지역별로 차이가 큽니다. 프랑스, 독일, 이탈리아, 일본, 미국을 대상으로 한 연구 결과 인구 95%가 연평균 0.3-0.6mSv의 외부피폭을 받는 지역에 거주하고 있습니다. 하지만 일부는 연평균 1mSv 이상을 피폭 받을 수 있는 지역에 거주하고 있습니다. 전 세계적으로 봤을 때 지각 선량이 특히 높은 지역이 있습니다. 예를 들어 인구밀도가 높은 인도 케렐라 지역 남서부의 55km에 달하는 긴 해안가에는 토륨이 많이 함유된 모래가 가득합니다. 그로 인해 이곳 사람들은 연평균 3.8mSv를 받습니다. 이 외에도 자연 지각 선량이 높다고 알려진 지역으로는 브라질, 중국, 이란, 마다가스카르, 나이지리아가 있습니다.

라돈 가스

라돈-222는 토양에서 일반적으로 방출되는 가스형태의 방사성핵종입니다. 지구의 암석과 토양에 존재하는 우라늄-238이 붕괴를 거쳐 라돈-222가 됩니다. 라돈-222를 흡입할 경우 반감기가 짧은 폴로늄-218과 폴로늄-214와 같은 붕괴생성물이 폐로 들어간 뒤 호흡기를 따라 알파입자의 형태로 세포들을 피폭시킵니다. 흡연자와 비 흡연자 모두에게 폐암의 주요 원인은 라돈입니다. 하지만 라돈 피폭과 흡연 사이에는 강력한 상호영향이 있기 때문에 흡연자가 라돈에 훨씬 취약합니다.

라돈은 대기 중 어디에나 있으며 지하와 바닥을 통해 건물로 직접 침투할 수 있습니다. 지하와 바닥의 라돈 농도(단위부피, 단위 시간 당 방사능의 양)는 점점 증가할 수도 있는데, 주로 난방을 할 때 따뜻한 공기가 집 꼭대기의 유리창이나 틈새로 빠져 나가 지하나 1층이 저기압이 될 때 라돈 농도가 증가하는 경향이 나타납니다. 이는 결과적으로 하층토에 존재하는 라돈 가스가 주택의 바닥부분에 있는 금이나 틈(예: 옥내관 관통부)을 통해 유입되도록 만듭니다.

세계 평균 실내 라돈 농도는 약 50Bq/m3 입니다. 하지만 이 수치는 지역마다 크게 다릅니다. 일반적으로 국가별 평균 농도는 차이가 매우 큰데, 키프로스, 이집트, 쿠바 는 10Bq/m3 이하이며 체코, 핀란드, 룩셈부르크는 100Bq/m3가 넘습니다. 캐나다, 스웨덴, 스위스와 같은 국가는 집안 라돈 농도가 1,000 – 10,000Bq/m3 인 곳도 있지만 이렇게 라돈 농도가 높은 집의 비율은 극히 드뭅니다. 이러한 차이에 영향을 미치는 요인은 지질학적 요인, 토양의 투과성, 건물의 자재와 환기시설 등이 있습니다.



기후에 영향을 받는 환기는 특히 중요한 요소입니다. 열대 기후 지역의 건물은 환기가 잘 되기 때문에 라돈 농도가 거의 증가하지 않습니다. 하지만 온대, 한랭기후의 경우는 환기가 잘 되지 않기 때문에 라돈 농도가 상당히 증가할 수 있습니다. 따라서 에너지 효율이 높은 건물을 설계할 때에는 제한적인 환기로 인해 발생할 수 있는 영향을 고려하는 것이 중요합니다. 여러 국가에서 광범위한 측정 프로그램을 진행하고 있으며, 이 프로그램들을 통해 실내 라돈 농도를 낮추기 위한 조치들의 실행 기반이 조성되었습니다.

물속 라돈 농도는 일반적으로 매우 낮지만 핀란드 헬싱키의 깊은 우물과 미국 아칸소 주의 온천 등의 라돈 농도는 매우 높습니다. 물속 라돈은 공기 중 라돈 농도를 증가시킵니다(특히 샤워할 때). 하지만 유엔방사선영향과학위원회는 마시는 물에 함유된 라돈으로 인해 피폭받는 선량이 라돈을 흡입해 피폭 받는 선량보다 작다고 결론짓고 있습니다. 유엔방사선영향과학위원회는 라돈으로 인한 연평균 유효선량이 전체 자연선량의 절반 정도에 해당하는 1.3mSv 라고 평가합니다.

직장에서의 피폭

일부 종사자들의 가장 큰 방사선 피폭 요인은 가스 흡입입니다. 광산의 종류에 상관없이 지하 채굴의 가장 큰 방사선 피폭 요인은 라돈입니다. 석탄광부가 받는 연평균 유효선량은 2.4mSv 이며 다른 광산 광부의 경우 약 3mSv 입니다. 원자력관계종사자들의 연평균 유효선량은 약 1mSv이고 대부분의 우라늄광산에서 라돈 피폭을 받습니다.

음식물

음식물에는 대부분 자연선원인 원시 방사성핵종과 다른 방사성핵종들이 포함되어 있을 수 있습니다. 토양과 물에 있는 돌과 광물에 함유된 방사성핵종은 식물을 통해 동물로 전달됩니다. 그렇기 때문에 음식물에 든 방사성핵종의 농도와 식습관에 따라 피폭선량이 달라집니다.

예를 들면 어패류에는 상대적으로 많은 납-210과 폴로늄-210이 들어있기 때문에 해산물을 많이 섭취하는 사람은 일반사람보다 더 높은 선량을 받습니다. 북극지역의 사람들도 꽤 높은 선량을 받는데 이는 많은 양의 순록고기를 섭취하기 때문입니다. 북극지역의 이끼에는 폴로늄-210이 축적되어 있으며, 이를 먹는 순록은 폴로늄-210의 농도가 꽤 높습니다. 유엔방사선영향과학위원회는 음식물에 든 자연선량의 유효선량이 평균 0.3mSv라고 평가하였고, 이의 대부분은 칼륨-40과 우라늄-238, 토륨-232 계열 방사성핵종에 기인합니다.

인공선원인 방사성핵종도 음식물에 존재할 수 있지만 일반적으로 자연선원인 방사성핵종에 비해 선량이 매우 작습니다.

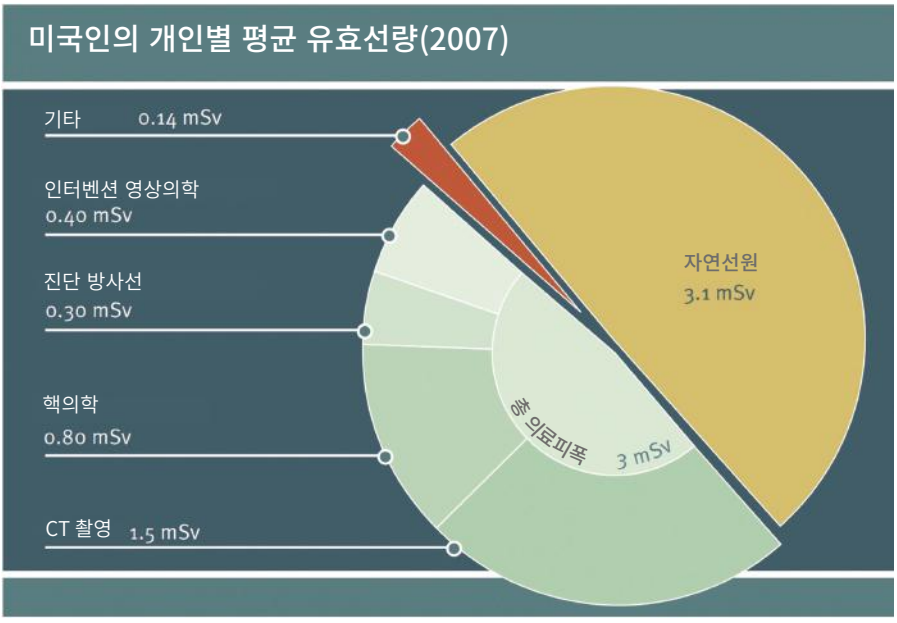
3.2. 인공선원

지난 수십 년간 방사선의 사용은 현저히 증가하였습니다. 과학자들은 군용, 의료용(예 : 암 치료), 전기용, 가전용(예 : 연기 감지기) 등의 다양한 목적으로 원자 에너지를 사용하였습니다. 인공선원으로부터 나온 방사선량은 자연선원으로부터 발생한 방사선량에 더해져 개인과 전 세계 인구의 피폭선량이 증가하였습니다.

개인이 인공선원으로부터 받는 선량은 매우 다양합니다. 대부분의 사람들은 인공선원으로부터 낮은 선량을 피폭 받지만 일부는 평균보다 몇 배는 더 높은 선량을 받습니다. 일반적으로 인공방사선은 방사선방호 수단을 통해 적절히 통제됩니다.

의료용

의료목적의 방사선이용은 진단과 질병 치료에 상당히 중요한 역할을 하고 있으며, 현재 전 세계적으로 인공방사선 피폭 중 가장 큰 부분을 차지합니다. 평균적으로 의료방사선 피폭량은 인공방사선 피폭량의 98%를 차지하며, 전 세계 인구가 받는 선량의 약 20%에 해당하여 자연방사선량에 이어 두 번째로 많습니다. 대부분의 의료피폭은 의료혜택이 풍부하고 방사선장비가 광범위하게 사용되는 선진국에서 발생합니다. 일부 국가의 의료방사선 피폭으로 인한 연평균 유효선량은 자연방사선으로 인한 연평균 유효선량과 비슷하기도 합니다.



의료방사선 피폭과 다른 종류의 방사선피폭과는 분명한 차이가 있습니다.

다른 종류의 방사선은 주로 신체 전체를 피폭하는 반면 의료방사선은 대부분의 경우 신체 일부만 피폭합니다. 뿐만 아니라 일반적으로 환자의 연령대가 일반 대중에 비해 높습니다. 또 의료방사선 피폭선량은 환자가 직접 받는 혜택까지 고려하여 일반 피폭선량과 비교해야 합니다.

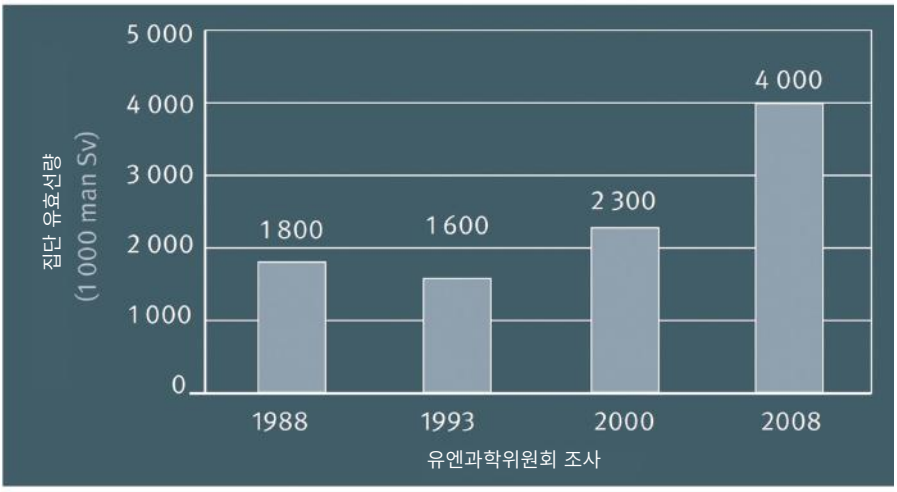
도시화가 고도화 되고 생활수준이 점진적으로 향상되면서 더 많은 사람들이 의료혜택을 볼 수 있게 되었습니다. 그 결과 전 세계적으로 의료방사선으로 인한 집단선량이 지속적으로 증가하고 있습니다. 유엔방사선영향과학위원회는 진단용, 치료용 방사선에 대한 정보를 정기적으로 수집하고 있습니다. 이 조사에 따르면 1997년부터 2007년까지 약 36억명이 의료목적으로 방사선에 피폭 받았는데 1991년부터 1996년까지는 25억명이었던 것에 비하면 거의 50%나 증가하였습니다.

의료방사선의 주요 분야는 방사선학(중재적 방사선술 포함), 핵의학, 방사선치료입니다. 유엔방사선영향과학위원회의 정기적 평가에 포함되지 않는 분야는 건강검진과 의료, 생물의학, 진단 혹은 치료 연구에의 자발적 참여가 있습니다.

진단방사선은 단순 X-선 촬영(흉부 혹은 치과 X-선 촬영), 형광 투시법, CT 촬영을 통해 얻은 영상을 분석하는 것입니다. 초음파, 자기공명영상 등 비전리방사선을 사용하여 얻은 영상은 유엔방사선영향과학위원회가 다루지 않습니다. 중재적 방사선술은 최소한의 절제 영상 유도 시술을 사용하여 병을 진단하고 치료합니다.(예를 들면 혈관 카테터 삽입)

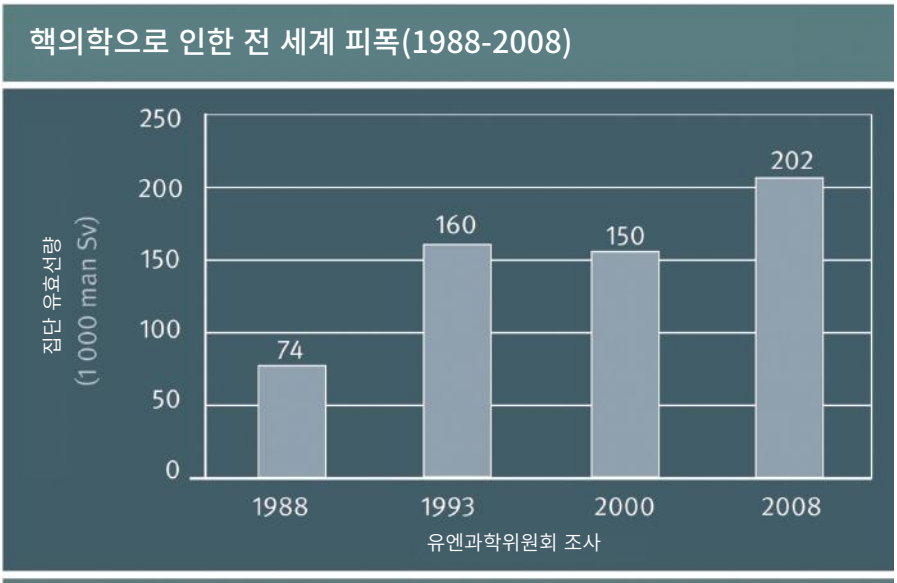
CT 의 광범한 사용과 촬영당 유의한 선량으로 인해 진단 방사선으로 인한 전 세계 유효선량이 1998년 0.35mSv에서 2007년 0.62mSv로 거의 두 배 가까이 증가하였습니다. 유엔방사선영향과학위원회의 최근 조사결과 CT 촬영이 방사선학으로 인한 집단선량 중 43%를 차지하는 것으로 나타났습니다. 이 결과 값은 지역마다 다릅니다. 전 세계 인구의 25%를 차지하는 선진국에 거주하는 사람들이 전체 방사선 진료의 약 2/3를 받았습니다. 나머지 인구 75%가 매년 받는 방사선 진료의 빈도수는 여전히 제자리에 머물고 있습니다. 심지어 단순한 치과용 X-선 검사도 마찬가지 입니다.

영상의학으로 인한 전 세계 피폭(1988-2008)



핵의학은 개봉(수용성이고 캡슐에 들어있지 않은) 방사성물질을 체내로 주입하여 인체 구조나 장기의 기능에 대한 정보를 얻을 수 있는 영상을 얻고, 가끔은 갑상선 기능 항진증과 갑상선암과 같은 질병을 치료하는 분야입니다.

핵의학으로 인한 전 세계 피폭(1988-2008)



일반적으로 방사성핵종은 방사성의약품의 형태로 제조한 뒤 정맥이나 구강으로 주입합니다. 주입된 방사성핵종은 물리적 혹은 화학적 특성에 따라 몸 안에 퍼져 촬영이 가능해 집니다. 몸 안의 방사성핵종이 방출하는 방사선을 분석하여 진단용 영상을 얻거나 방사선을 이용하여 질병을 치료합니다.

전 세계 핵의학 진단횟수는 1988년 2,400만 회에서 20007년 3,300만 회로 증가하였습니다. 이는 전 세계 집단 유효선량을 74,000man-Sv에서 202,000man-Sv로 급증하게 했습니다. 현대 핵의학은 치료 목적으로 사용되는 경우도 증가하여 전 세계 연간 90만 명의 환자가 핵의학으로 치료받고 있습니다. 핵의학도 마찬가지로 균등하게 사용되지 않아 전체 검사의 90%가 선진국에서 이루어지고 있습니다.

방사선치료(혹은 방사선요법)는 방사선을 이용해 암과 양성 종양을 포함한 여러 질병들을 치료합니다. 외부 방사선요법은 환자의 신체 밖에 있는 방사선원을 이용한 치료법을 의미하며 원격방사선요법이라고 부릅니다. 원격방사선요법은 강력한 방사선원(주로 코발트-60)이나 방사선을 발생시키는 고전압 기기(예를 들면 선형가속기)를 사용합니다. 뿐만 아니라 방사선원을 일시적 혹은 영구적으로 금속에 밀폐시켜 치료를 진행할 수도 있고, 방사선원을 환자의 몸 속에 넣어 치료를 진행할 수도 있습니다. 이러한 치료 방법을 방사선근접치료라고 합니다.

1988년에는 430만 명이 방사선치료를 받았고, 1997년부터 2007년까지는 전세계적으로 매년 510만 명의 환자들이 방사선 치료를 받았습니다. 약 470만 명의 사람들이 원격치료요법으로 치료받았고 40만 명이 방사선근접치료를 받았습니다. 전 세계 인구의 25%인 선진국에 거주하는 사람들이 전 세계 원격치료요법의 70%를 받았고 방사선근접치료의 40%를 받았습니다.

직장에서의 피폭

지난 수십 년간 의료용 방사선 진료가 급격히 증가하면서 의료종사자의 수도 증가하였습니다. 700만이 넘는 종사자들의 개인별 연평균 유효선량은 약 0.5mSv입니다. 중재적 방사선술과 핵의학의 경우 의료진은 평균선량보다 더 높은 선량을 받을 수 있습니다.

의료사고

일부 의료방사선(예를 들면 방사선치료, 중재적 방사선술, 핵의학)은 환자에게 고선량을 피폭하기 때문에 잘못하면 환자에게 심각한 손상을 입힐 수 있으며 심지어 사망에 이르게 할 수도 있습니다. 환자만 위험한 것이 아니라 의사와 주변 의료진들도 위험할 수 있습니다. 의료사고의 가장 큰 원인은 인적 오류입니다. 인적 오류는 치료 계획을 잘못 세워 잘못된 선량을 피폭시키거나 장비를 잘못 사용하거나, 잘못된 장기에 피폭시키거나 심지어 다른 환자에게 피폭시키는 경우 등이 있습니다.

심각한 방사선치료 사고는 매우 드물긴 하지만 100건이 넘었습니다. 유엔방사선영향과학위원회는 1967년 이후에 발생한 29건의 사고(사망 45명, 상해 613명)에 대해 검토했습니다. 하지만 일부 사망 사고와 다수의 상해사고가 보고되지 않았을 가능성이 높습니다.

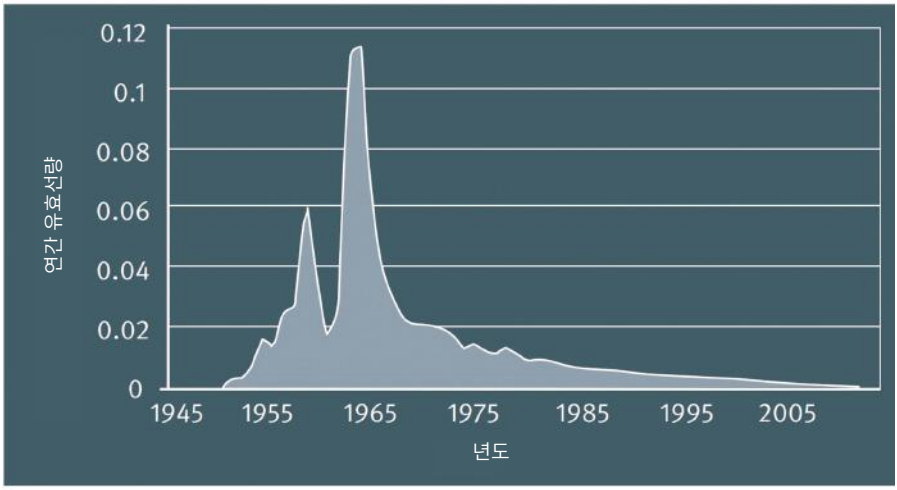
계획보다 초과된 피폭을 받는 것뿐만 아니라, 생명을 위협하는 질병을 치료하는 데 환자가 불충분한 선량을 피폭 받는 경우도 심각한 문제를 초래할 수 있습니다. 품질보증 프로그램을 통해 높고 일정한 기준을 유지하여 방사선치료 사고를 최소화할 수 있도록 해야 합니다.

핵무기

1945년 2차 세계대전 말, 두 기의 원자폭탄이 일본 히로시마(8월6일)와 나가사키(8월9일)에 투하되었습니다. 이로 인해 약 13만명의 사람이 사망합니다. 히로시마와 나가사키는 전쟁에서 핵무기가 사용된 역사상 유일한 사건으로 남아있습니다. 하지만 1945년 이후에도 대기 중에서 많은 핵 실험이 진행되었으며 대부분은 북반구에서 진행되었습니다. 1952년과 1962년 사이에 핵실험이 가장 활발히 이루어졌고 총 430메가톤의 TNT에 해당하는 규모였습니다. 마지막 실험은 1980년에 진행되었습니다. 전 세계 사람들은 핵실험의 낙진으로부터 방출된 방사선에 피폭되었습니다. 방사선 피폭이 인간과 환경에 미치는 영향에 대한 걱정을 해소하기 위하여 1955년 유엔방사선영향과학위원회가 설립되었습니다.

대기 중 핵실험으로 발생한 낙진으로 인한 연평균 유효선량은 1963년 가장 높았으며 0.11mSv였습니다. 선량은 점차 낮아져 현재는 0.005mSv까지 떨어졌습니다. 이 선량은 대부분 반감기가 긴 탄소-14로 인해 발생하기 때문에 아주 느리게 감소할 것입니다.

핵실험 낙진으로 인한 전 세계 개인별 평균 선량



대기 중 핵실험으로 인해 발생한 낙진의 50%정도가 실험장소의 반경 100km 이내에 쌓여있습니다. 하지만 실험장소가 상당히 외딴 지역에 있기 때문에 지역주민들이 받는 선량은 낮고 전 세계 집단선량이 미치는 영향은 미미합니다. 그렇지만 실험 장소로부터 바람이 부는 방향에 거주하는 사람들은 평균보다 높은 선량을 받았습니다.

1958년 유엔방사선영향과학위원회의 첫 번째 보고서에 제시된 과학적 근거들 덕분에 부분적 핵실험 금지조약이 타결되었습니다. 1963년 부분적 핵실험 금지조약이 체결된 뒤 1990년대까지 매년 약 50차례의 핵실험이 지하에서 이루어졌습니다. 그 후에도 몇 차례 핵실험이 있었습니다. 대부분의 지하 핵실험은 대기 중 핵실험 보다 방출하는 방사선량이 낮고, 가스형태로 배출시키거나 새어나가지 않는 이상 방사성 잔해들이 대기 중으로 방출되지 않습니다. 핵실험으로 인해 엄청난 양의 방사성물질이 발생되지만 대중들이 피폭될 가능성은 낮습니다. 왜냐하면 실험장소가 지하 깊은 곳에 위치해 있고 방사성물질이 모암에 녹아 들기 때문입니다.

핵실험 장소 중 일부는 현재 사람들이 다시 사용하고 있기 때문에 핵실험 장소를 재사용할 수 있는지(예: 방목지, 농작지로 사용)에 대한 우려가 있습니다.

카자흐스탄 세미팔라틴스크와 같은 일부 핵실험 장소의 방사선량은 꽤 높은 반면 프랑스령 폴리네시아의 무루로아, 팡가타우파 환초에서 방출되는 방출되는 방사선량은 자연선량의 일부 밖에 되지 않습니다. 미국이 핵실험을 진행한 마셜제도와 영국이 핵실험을 진행한 마라링가 주민들의 음식과 생활습관에 따라 피폭선량이 달라질 수 있습니다.

원자로

중성자가 우라늄 혹은 플루토늄 동위원소와 출동할 경우, 핵이 두 개의 더 작은 핵으로 나뉘는 핵분열 현상이 발생하고, 에너지를 방출하며 두 개 혹은 그 이상의 중성자가 방출됩니다. 이 때 방출된 중성자들이 또 다른 우라늄 혹은 플루토늄 핵의 핵분열을 야기해서 더 많은 중성자들이 방출되고 더 많은 핵들이 분열되는 현상이 나타납니다. 이 현상을 연쇄반응이라고 부릅니다. 이러한 동위원소들은 일반적으로 원자로에서 연료로 사용됩니다. 원자로에서는 연쇄 반응이 너무 빨리 일어나는 것을 제어합니다.

원자로에서 핵분열을 통해 방출된 에너지는 전기를 생산하는 데 사용될 수 있습니다. 그러나 이러한 발전용 원자로뿐만 아니라 핵연료와 다양한 물질들을 테스트하며, 핵물리학과 생물학 연구에 사용하고, 의학과 산업분야에서 사용되는 방사성핵종을 생산하는 연구용 원자로도 있습니다. 두 원자로 사이에는 차이가 있지만 모두 우라늄 채굴이나 방사성폐기물 처리와 같은 종사자, 일반인 피폭을 일으키는 공정들이 존재합니다.

원자력발전소

세계 최초의 상업용 원전이 콜더 홀은 1956년 영국에 건설되었습니다. 그 후 원전의 발전량은 기하급수적으로 증가해 왔습니다. 오래된 원자로를 해체하는 경우가 증가했음에도 불구하고 원전의 발전량의 증가하고 있습니다. 2010년 말, 29개국에서 약 440개의 원자로가 가동 중에 있으며 전 세계 발전량의 약 10%를 차지하고 있습니다. 뿐만 아니라 56개국에 240개의 연구용 원자로가 있습니다.

원자력발전에 대한 논란이 있기는 하지만 정상 운전 중인 원전이 전 세계 방사선 피폭에 미치는 영향은 매우 미미합니다. 게다가 원전의 종류, 위치와 연식에 따라 방사선피폭 수준은 매우 상이합니다.

전 세계 원자력 발전소 (2010)

원전의 발전량은 늘어났지만 정상 운전 중인 원전으로 인한 피폭수준은 전반적으로 감소하는 추세입니다. 이는 방사선방호 조치가 엄격해진 것과 기술의 진보 덕분입니다. 일반적으로 원전이 방출하는 방사선량은 매우 낮습니다. 원전 주변의 인구에게 미치는 연간 집단선량은 75man-Sv에 불과합니다. 그러므로 원전 주변에 거주하는 사람이 피폭 받는 연간유효선량은 약 0.0001mSv 밖에 되지 않습니다.

원자력 운용 시 방사선에 가장 많은 피폭을 받는 과정은 채굴입니다. 우라늄 채굴과 우라늄 제련 과정에서 높은 준위의 방사성핵종을 함유한 부스러기들이 상당히 많이 발생합니다. 2003년까지 전체 우라늄 채굴량은 약 20만 톤에 달하며 그로 인해 발생한 부스러기들은 2억 톤이 넘습니다. 부스러기들을 모아놓은 더미는 현재 잘 보존되고 있지만 오래된 곳이 많고 버려진 곳도 많으며 보수가 이루어진 곳은 매우 드뭅니다. 유엔방사선영향과학위원회는 현재 우라늄 광산과 우라늄 제련 주변지역, 부스러기 더미 주변 지역 주민들이 받는 집단선량을 약 50-60man-Sv로 평가했습니다.

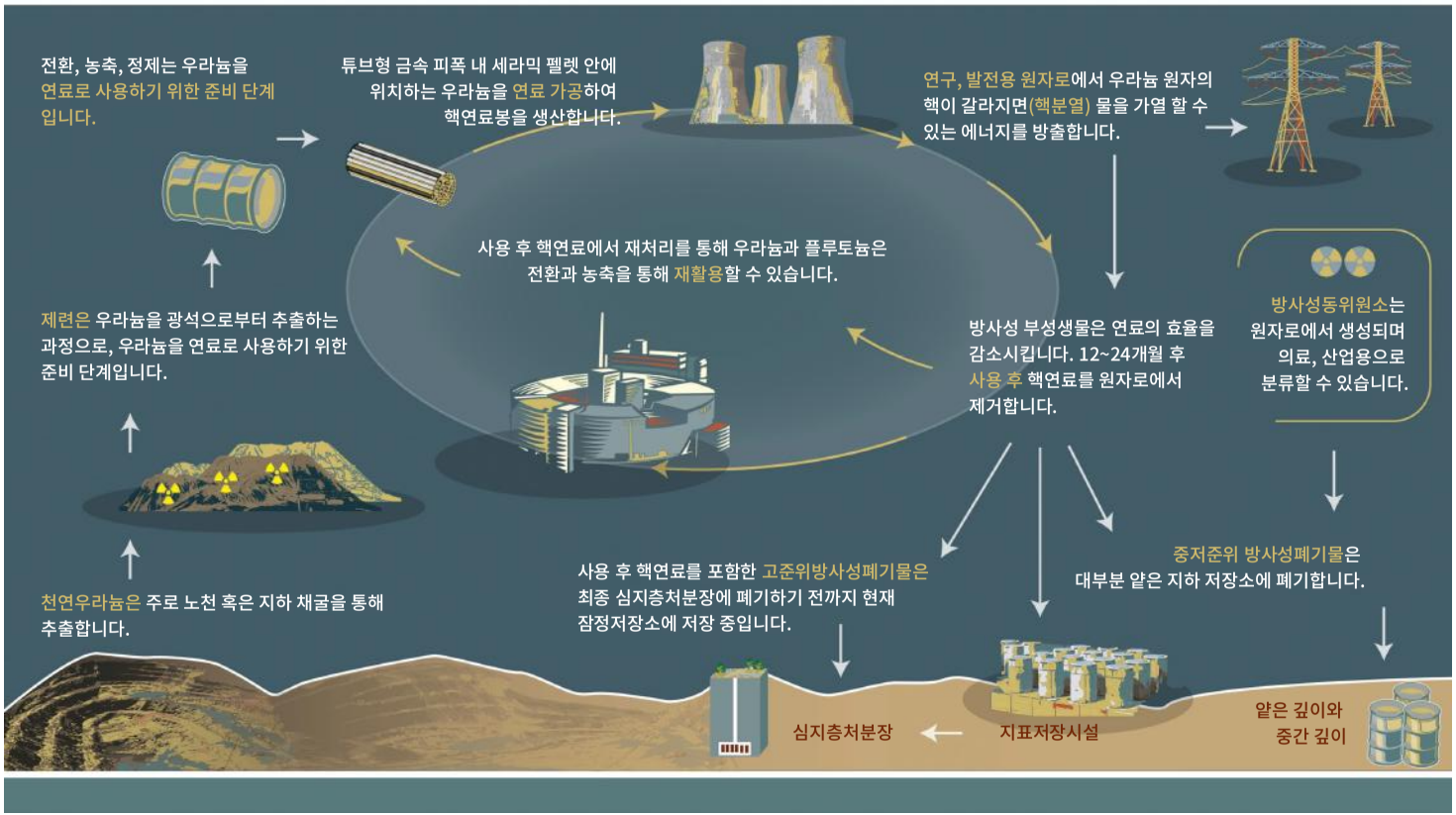
원자로 사용 후 핵연료를 재처리하면 다시 사용할 수 있는 우라늄과 플루토늄을 얻을 수 있습니다. 대부분 사용 후 핵연료는 현재 중간임시저장소에서 보관 중이지만 지금까지 사용 후 핵연료의 1/3이 재처리 되었습니다. 재처리로 인한 집단선량은 연간 약 20-30man-Sv로 평가되었습니다.

저준위, 일부 중준위 폐기물은 현재 천층처분방식으로 처리하고 있으나 과거에는 바다에 버리기도 했습니다. 재처리 후 발생한 고준위 폐기물과 재처리를 하지 않은 사용 후 핵연료는 우선 저장을 하지만 결국은 처리를 해야합니다. 먼 미래에도 사람들을 피폭시키지 않아야 폐기물을 제대로 처리한 것입니다.

직장에서의 피폭

원자력산업의 경우 지하 우라늄 광산에서 방출되는 라돈으로 인한 피폭이 직무피폭의 많은 부분을 차지합니다. 고준위 방사성핵종을 포함하고 있는 방사성광물을 추출하고 가공하는 것이 가장 일반적인 작업입니다. 원자력종사자 개인별 평균 유효선량은 1970년대부터 점차 줄어들어 4.4mSv에서 현재1mSv까지 줄어들었습니다. 우라늄 광산에서 피폭이 줄어든 큰 이유는 채굴기술의 발전과 환기와 관련이 있습니다.

원자력 산업의 주요 공정


전환, 농축, 정제는 우라늄을 연료로 사용하기 위한 준비 단계입니다.
튜브형 금속 피폭 내 세라믹 펠렛 안에 위치하는 우라늄을 연료 가공하여 핵연료봉을 생산합니다.
연구, 발전용 원자로에서 우라늄 원자의 핵이 갈라지면(핵분열) 물을 가열 할 수 있는 에너지를 방출합니다.
사용 후 핵연료에서 재처리를 통해 우라늄과 플루토늄은 전환과 농축을 통해 재활용할 수 있습니다.
제련은 우라늄을 광석으로부터 추출하는 과정으로, 우라늄을 연료로 사용하기 위한 준비 단계입니다.
방사성 부성생물은 연료의 효율을 감소시킵니다. 12~24개월 후 사용 후 핵연료를 원자로에서 제거합니다.
방사성동위원소는 원자로에서 생성되며 의료, 산업용으로 분류할 수 있습니다.
천연우라늄은 주로 노천 혹은 지하 채굴을 통해 추출합니다.
사용 후 핵연료를 포함한 고준위방사성폐기물은 최종 심지층처분장에 폐기하기 전까지 현재 잠정저장소에 저장 중입니다.
중저준위 방사성폐기물은 대부분 얕은 지하 저장소에 폐기합니다.
심지층처분장
지표저장시설
얕은 깊이와 중간 깊이

핵 시설 사고

원자력업계의 민간 시설은 정상 운전 시 피폭 준위가 매우 낮습니다. 하지만 그 동안 많은 대중의 이목을 집중시킨 심각한 사고가 몇 번 있었고, 유엔방사선영향과학위원회는 사고결과를 검토해 왔습니다. 사고의 예로는 1958년 구 유고슬라비아에서 발생한 빈카 연구시설 사고, 1979년 미국의 스리마일 원자력발전 사고, 199년 토카이무라 임계사고가 있습니다.

1945년부터 2007년까지 핵시설 사고로 인해 34명의 종사자가 사망하거나 심각한 상해를 입었으며, 탐지 가능한 수준의 집단피폭이 발생한 방사성물질 외부 유출은 7건 있었습니다. 핵무기 관련 시설에서 발생한 심각한 사고도 있었습니다. 아래서 다룰 1986년 체르노빌 사고와 2011년 후쿠시마 제1원전 사고를 제외하고도 방사선관련 사고로 인해 29명의 사망자와 68명의 부상자가 발생했습니다.

체르노빌 사고 전 가장 심각한 민간시설 사고는 1979년 3월 28일에 발생한 스리마일 원자력 발전 사고 입니다. 일련의 문제들로 인해 부분 노심 용융이 발생했습니다. 붕괴된 노심에서 대량의 핵분열 생성물과 방사성핵종이 격납건물 안으로 방출되었습니다. 하지만 다행히도 환경으로는 상대적으로 적은 양이 방출되어 대중이 받은 피폭은 아주 낮았습니다.

체르노빌 원전사고

체르노빌 원전 사고는 1986년 4월 26일에 발생했으며 역사상 가장 심각한 민간 원자력발전소 사고이자 일반 대중이 방사선 피폭을 가장 많이 받은 사고 입니다. 체르노빌 사고의 집단선량은 다른 모든 방사선사고의 집단선량을 다 합한 것 보다 몇 배는 높습니다.

두 명의 종사자가 사고의 여파로 발생한 트라우마로 사고 직후 사망하였고, 134명이 급성방사선 증후군을 겪었으며 그 중 28명이 사망했습니다. 생존자들에게는 피부손상과 방사선으로 인해 발생한 백내장이 가장 큰 문제였습니다. 이후, 긴급종사자를 제외하고도 수 천명의 사람들이 추가 복구작업을 수행하였습니다. 1986년과 1987년 사이에 고선량 피폭된 집단에게 백혈병과 백내장 발병이 눈에 띄게 증가한 것을 제외하고는, 이들에게 방사선과 관련된 다른 건강영향이 발생했다는 증거가 현재까지는 없습니다.

체르노빌 사고는 역사상 제어되지 않은 방사성물질을 환경으로 가장 많이 유출시킨 사고였습니다. 약 10일 동안 대량의 방사성물질이 대기 중으로 방출되었습니다. 사고로 인해 생성된 방사능 구름이 북반구 전체를 뒤덮었고, 대량의 방사성물질이 구 소련과 다른 유럽지역을 오염시켰으며, 특히 현 벨라루스, 러시아, 우크라이나 지역의 토지와 물을 오염시켜 주변 주민들의 심각한 사회적 경제적 혼란을 야기했습니다.

짧은 반감기(8일)를 가진 방사성핵종인 요오드-131에 우유가 오염되었고, 피폭선량을 즉각적으로 측정할 장치가 부족했기 때문에 오염된 우유를 마신 사람들은 갑상선에 초고선량 피폭을 받았습니다. 1986년 벨라루스, 우크라이나, 러시아의 일부 지역에서 피폭 받았던 사람들 중 당시 어린이였거나 청소년이었던 사람들에게서 1990년대 초부터 갑상선암 발병이 증가하였습니다. 1991년부터 2005년까지 6천명 이상에게 갑상선암이 발병했고 이 중 15명은 사망했습니다.

시간이 흐른 뒤, 일반 대중들도 방사선침전물로 인해 외부피폭과 주로 세슘-137(반감기 30년)에 오염된 음식물 섭취로 인해 내부피폭을 받았습니다. 하지만 시간이 지났기 때문에 방사선량은 상대적으로 낮아졌습니다. 1986년부터 2005년까지 벨라루스, 우크라이나, 러시아 지역 주민들이 받은 개인별 평균 유효선량은 9mSv였습니다. 이 정도 선량으로 인해 일반 대중에게 심각한 건강문제가 발생할 가능성은 거의 없습니다. 하지만 사고로 인해 발생한 심각한 혼란이 큰 사회적, 경제적 파장을 불러일으켰으며 피폭 받은 주민들에게 극심한 고통을 안겼습니다.

유엔방사선영향과학위원회는 사고로 인한 방사선 피해에 대해 연구했으며 여러 건의 보고서를 통해 연구결과를 발표했습니다. 국제사회는 사고 피해의 규모와 특성을 평가하여 사고의 방사선 피해와 기타 피해들을 이해해고 피해를 완화시키기 위해 유례없는 노력을 기울였습니다.

체르노빌 사고 후 평균 갑상선 선량
민스크
모길료프
칼루가
툴라
러시아
벨라루스
브랸스크
오룔
브레스트
고멜
체르니히우
체르노빌
원자력발전소
우크라이나
로브노
키예프
지토미르
>650 mGy
150–650 mGy
30–150 mGy
10–30 mGy
<10 mGy

1986년 이후 연구 결과, 어린이였을 때 요오드-131에 피폭 받은 사람들과 고선량을 피폭 받은 긴급복구종사자들에게서 방사선으로 인한 영향이 증가하는 것으로 나타났습니다. 하지만 대부분 지역 주민들은 상대적으로 낮은 선량에 피폭 받아 연간 자연선량과 비슷하거나 조금 높은 정도 수준의 방사선을 피폭 받았습니다.

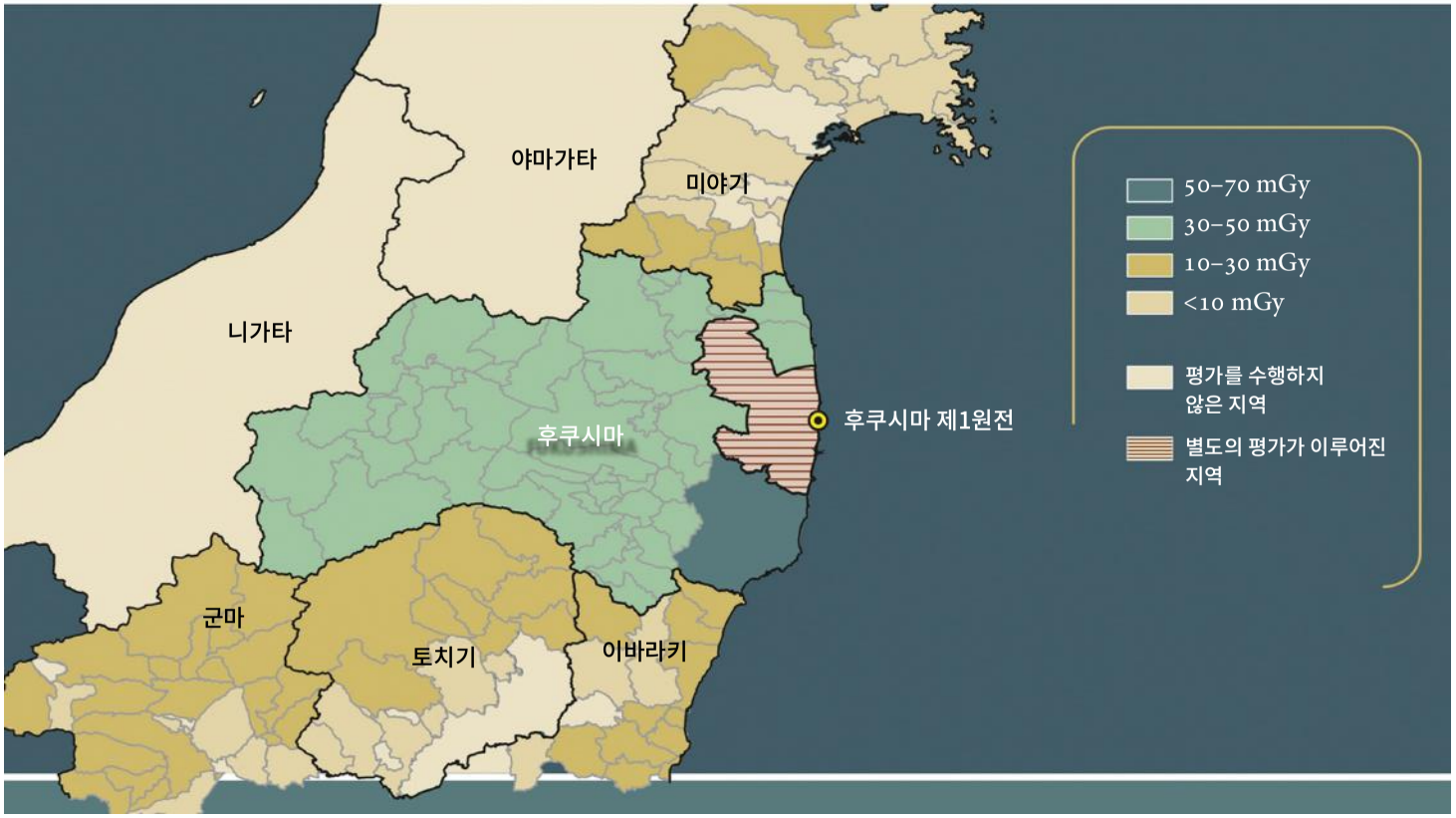
후쿠시마 제1원자력발전소 사고

2011년 3월 11일 발생한 규모 9.0의 동일본 대지진과 북동쪽 해안의 쓰나미 때문에 후쿠시마 제1원자력발전소는 심각한 손상을 받았고 방사성물질이 환경으로 방출되었습니다. 예방조치로 3월 11일부터 15일까지 원자력발전소 주변 20km내 거주민 약 8만5천명을 대피시켰습니다. 반면 원자력발전소 주변 20-30km내 거주민들은 각자의 집에서 대기하였습니다. 2011년 4월 지면의 방사성핵종 수위가 올라감에 따라 원자력발전소의 북동쪽에 거주하는 1만 명의 주민들에게도 대피 권고가 내려졌습니다. 대피를 한 덕분에 피폭될 뻔했던 선량보다 훨씬 적은 선량만을 피폭 받았습니다. 대중의 방사선 피폭을 제한하기 위해 물과 일부 음식물을 소비하는 것을 일시적으로 금지하였습니다. 원자력발전소의 긴급 상황을 제어하는 과정에서 일부 종사자와 비상대응팀이 피폭을 받았습니다.

유엔방사선영향과학위원회는 선량과 그로 인한 건강, 환경영향을 평가하였습니다. 후쿠시마 제1원자력발전소 부지에서 사고 후 1년 반 동안, 약 2만 5천명의 종사자들이 방사선량을 낮추기 위한 작업과 다른 작업에 참여했습니다. 이 종사자들의 평균 유효선량은 약 12mSv 였습니다. 하지만 그들 중 6명은 총 누적선량이 250mSv가 넘었으며, 가장 높은 선량에 피폭된 사람은 680mSv를 받았습니다(내부피폭이 약 90%). 12명의 종사자들은 갑상선에 2-12Gy를 피폭 받았습니다. 종사자들 중 사고로 인한 급성방사선증후군이나 방사선 때문에 사망한 사람은 없었습니다.

후쿠시마현에서 대피한 성인들의 사고 1년 뒤 평균 유효선량은 1-10mSv였습니다. 1세 유아의 유효선량은 약 2배 높다고 평가되었습니다. 주민들이 소개되지 않은 후쿠시마현의 몇 지역과 이웃 현의 경우 선량은 낮았습니다.

후쿠시마 제1원전 사고 후 평균 갑상선 선량



주로 요오드-131로 인한 평균 갑상선 피폭은 성인의 경우 최대 35 mSv, 1세 유아는 최대 80 mGy 였습니다. 자연방사선원으로 인해 갑상선이 받은 외부피폭의 연간선량은 일반적으로 1-9mSv 수준입니다. 유엔방사선영향과학위원회는 방사선피폭을 받은 어린이들의 갑상선암 발병 가능성이 이론적으로는 증가했을 수 있다고 결론 내렸습니다. 하지만 어린이들에게 갑상선암은 희소한 질병이기 때문에 통계적으로 관측될만한 영향은 나타나지 않을 것으로 예상됩니다.

후쿠시마 제1원자력발전소 사고를 체르노빌 사고와 비교해보면, 원자로 종류, 사고가 발생한 방식이 다르며 방출된 방사성물질의 특성과 분산도 차이가 있고 보호조치도 달랐습니다. 둘 다 대량의 요오드-131과 세슘-137(두 물질은 원자력 사고 후 가장 큰 피폭 요인)이 환경으로 방출되었습니다. 후쿠시마 제1원자력발전소 사고로 인해 방출된 요오드-131과 세슘-137의 양은 체르노빌 사고에서 방출된 양의 각각 10%, 20% 수준입니다.

산업 및 기타용도

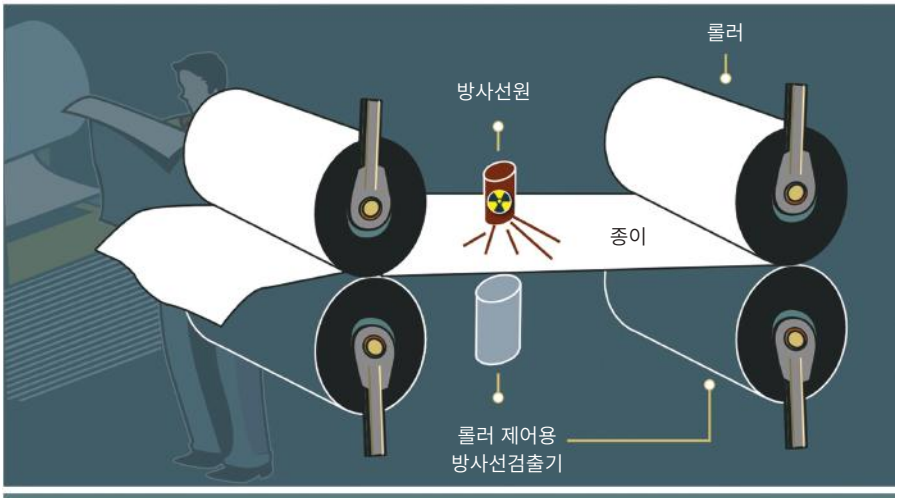
다양한 산업분야에서 방사선원을 사용하고 있습니다. 여기에는 의료, 의약품 멸균, 음식물 보존 혹은 해충박멸용 방사선조사와 용접 이음부의 결함을 찾기 위한 산업용 방사선촬영, 사격 가늠자의 형광물질로 쓰이는 알파 혹은 베타방출체, 비상구 표시등과 지도의 발광체에 쓰이는 저 준위 형광선원, 지질학적 특성을 분석하기 위한 광물, 석유, 가스탐사 시추공의 검층용 방사선원이나 소형X-선 발생장치, 물체의 두께, 습도, 밀도, 높이를 측정하기 위한 방사선원과 연구분야에서 사용되는 밀봉방사선원이 있습니다.

방사성핵종이 널리 사용되고는 있지만, 산업용, 의료용, 방사성핵종을 생산하는 과정에서 일반 대중이 아주 낮은 선량을 피폭 받습니다. 그러나 사고가 발생한 경우 국지적으로 오염될 수 있으며 고선량 피폭을 받을 수 있습니다.

직장에서의 피폭

2000년대 초반 방사선을 사용하는 업종에 종사하는 사람들의 수는 약 백만 명이었으며, 종사자 별 연간 유효선량은 0.3mSv 였습니다.

방사선을 사용한 두께 측정 장비



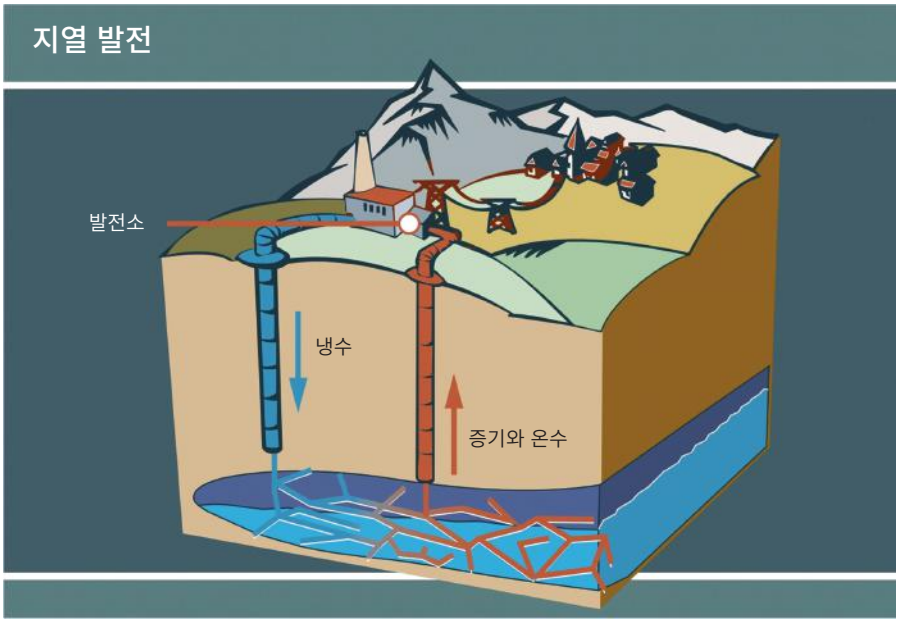
천연방사성물질

전 세계에는 원자력에너지의 이용과는 무관한 산업제품, 공정 부산물과 폐기물 등에서 천연방사성물질(NORM)의 농도를 증가시켜 일반대중에게 방사선 피폭을 유발시킬 수 있는 몇몇 설비들이 있습니다. 이 중 가장 중요한 시설들이 채굴 및 광물 가공과 관련된 시설들입니다.

광석을 채굴하고 가공하는 과정은 NORM의 양을 증가시킬 수도 있습니다. 이 과정은 금속의 채굴과 제련, 인산염 생산, 석탄 채굴과 이를 이용한 발전, 석유와 가스의 시추, 희토류나 티타늄 산화물 산업, 지르코늄과 세라믹 사업 그리고 천연방사성핵종(일반적으로 라듐과 토륨의 동위원소)의 활용을 포함합니다.

석탄에는 원시 방사성핵종의 흔적이 남아있습니다. 석탄을 태우는 과정에서 이 방사성핵종이 환경으로 방출됩니다. 석탄 화력발전소에서 연간 1 기가 와트의 전력을 생산할 때마다 전 세계 인구의 집단선량은 20man-Sv 만큼 증가합니다. 덧붙여 비산재(연소과정에서 발생하는 잔여물)는 도로공사나 매립에 사용되어 왔습니다. 하지만 건축물에 비산재를 사용하는 경우 직접 방사선 피폭과 라돈 흡입을 통한 방사선 피폭을 유발합니다. 뿐만 아니라 비산재를 폐기한 폐기장 주변의 방사선 피폭 수준이 증가할 수 있습니다.

지열발전은 일반 대중의 방사선 피폭을 야기하는 요소 중 하나 입니다. 지하 온수, 수증기 저장소는 건물을 난방 하거나 발전하는 데 사용됩니다. 미국과 이탈리아에서 지열발전으로 인한 연간 집단선량은 석탄 화력발전소가 연간 1기가 와트의 전력을 생산할 때 발생하는 연간 집단선량의 10% 정도 입니다. 지열발전으로 생성된 전기는 전 세계 발전량의 극히 일부이기 때문에 방사선 방출량도 적습니다.



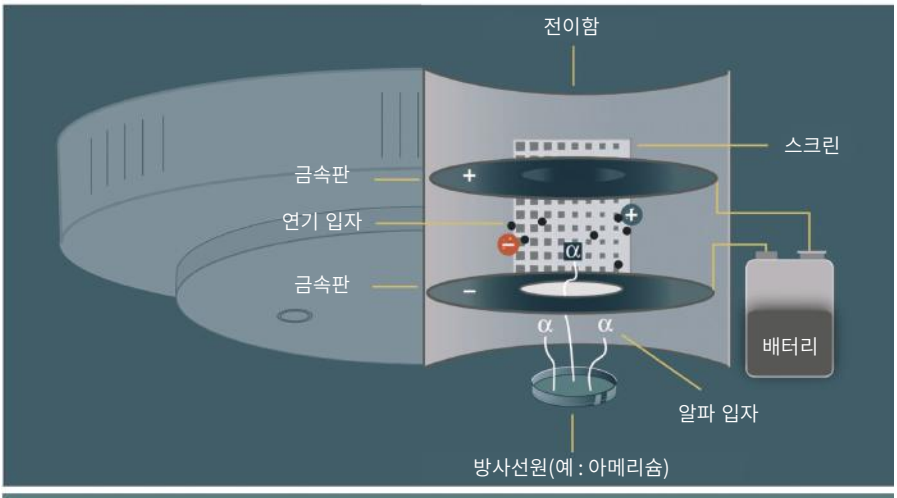
이외에도 농업용수 처리 과정에서 발생하는 폐기물과 같은 인간의 활동들로 인해 NORM이 발생하여 방사선을 방출할 수 있습니다. 하지만 대중들에게 미치는 피폭 수준은 연간 1/1,000 밀리시버트 이하로 매우 낮습니다.

우라늄 농축의 부산물인 열화우라늄은 천연우라늄보다 방사능이 낮습니다. 열화우라늄은 밀도가 높아 방사선차폐용 혹은 비행기의 균형추로 사용되고 있습니다. 군용으로는 특히 방호구를 관통하는 탄약으로 사용되는 데, 잔류 오염에 대한 우려가 제기되고 있습니다. 열화우라늄을 장기간 취급하는 등의 일부 경우를 제외하고는 열화우라늄으로 인한 방사선피폭은 매우 낮습니다. 사실 열화우라늄은 화학적 독성이 가장 큰 문제입니다.

소비재

일상에서 매일 사용하는 물품 중 상당히 많은 부분에 방사성핵종의 화학적 혹은 방사성특징을 이용하기 위해 일부러 첨가한 저준위 방사성핵종이 함유되어 있습니다. 야광제품에 사용된 방사성 물질 중 역사적으로 가장 주요한 물질은 라듐-226 입니다. 라듐-226은 몇 십 년 전부터 더 이상 사용하지 않고, 그 보다 독성이 낮은 프로메튬-147과 삼중수소를 사용하고 있습니다. 삼중수소는 기동성이 높아 시계 속 삼중수소가 누출되는 경우가 발생했습니다. 하지만 삼중수소는 피부를 투과하지 못하는 매우 약한 베타입자를 방출하기 때문에 사람은 삼중수소가 인체 내부로 들어갔을 때에만 피폭됩니다.

방사선을 이용한 화재탐지기



현대 화재탐지기는 알파 방출체이자 지속적인 이온전류를 방출하는 아메리슘-241 박막으로 구성된 전이함으로 이루어져 있습니다. 외부 공기가 탐지기 안으로 자유롭게 들어올 수 있고, 연기가 탐지기 안으로 들어올 경우 전류를 방해해 경보를 울리게 합니다.

화재 탐지기 속 아메리슘 선원의 방사능은 매우 낮습니다. 아메리슘은 반감기가 432년으로 아주 천천히 붕괴됩니다.

이 말은 화재 탐지기는 10년을 사용하더라도 본래의 성능과 거의 동일하다는 의미입니다. 아메리슘 선원이 화재 탐지기 안에 있는 동안에는 무시해도 될 정도로 피폭이 적습니다. 민감한 장비로는 측정할 수 있긴 하지만 화재 탐지기로 인해 피폭 받는 선량은 아주 낮습니다. 하루에 8시간씩 화재 탐지기 옆 2m에 사람이 서 있을 경우 피폭 받는 선량은 연간 0.0001mSv도 안됩니다.

산업재해

산업용 방사선원으로 인한 사고는 원자력발전소 사고보다 자주 발생합니다.종사자와 대중에게 광범위한 방사선 피폭을 초래할 수 있음에도 불구하고 일반적으로 주목 받지 못합니다.

1945년부터 2007년 사이에 가속기, X-선 장비, 방사선원을 사용하는 산업시설에서 약 80건의 사고가 발생했습니다. 9명이 사망했고 120명의 종사자가 부상당했습니다. 일부 부상자들 중에는 급성방사선증후군이 나타났습니다. 손은 가장 흔히 부상을 입는 부위이며 절단해야 하는 경우가 종종 발생합니다. 유엔방사선영향과학위원회는 산업시설에서 발생한 사망, 상해 사고 중 일부는 보고되지 않았을 수도 있다고 판단합니다.

산업재해의 원인과 영향은 다양합니다. 여기에서는 두 가지 사례만을 예시로 제시합니다. 1978년 미국 루이지애나 주에서 방사선 촬영 기사가 바지선에서 작업하던 도중 3.7TBq의 이리듐-192에 의해 왼손이 피폭되었습니다. 그의 손은 빨갛게 부풀어 오르고 물집이 발생하여 5-8주 정도 치료하였습니다. 하지만 6개월 뒤 검지의 일부를 절단해야만 했습니다. 1980년 중국 상하이에서 7명의 종사자들이 산업시설에서 안전조치가 충분히 이루어지지 않은 상태로 작업하던 중 코발트-60에 피폭되었습니다. 한 명은 12Gy를 피폭 받았으며 25일 후 사망했습니다. 또 다른 한 명은 11Gy를 피폭 받았으며 90일 뒤 사망했습니다. 나머지 5명의 경우 2-5Gy를 피폭 받았고 치료 후 회복했습니다.

무적 선원

1966년부터 2007년까지 무적 선원이라고도 알려진 분실, 도난 혹은 버려진 방사선원으로 인한 31건의 사고가 발생했습니다. 이 사고로 인해 어린이를 포함한 일반인 42명이 사망했습니다.

뿐만 아니라 급성방사선증후군, 심각한 국부 손상, 내부 오염, 정신적 피해 등 의료 진료가 필요한 환자가 수백 명에 달했습니다. 6건의 사고는 버려진 의료 방사선 장비와 관련이 있었습니다.

전 세계적으로 무적 선원의 수가 정확히 얼마인지는 불분명하지만 수 천 개는 될 것으로 예상합니다. 미국 원자력규제위원회는 1996년부터 2008년까지 미국 내 회사들이 1,500개에 달하는 방사선원의 행적을 놓쳤으며, 이 중 절반 이상은 끝내 찾지 못했습니다. 유럽연합은 유럽연합 내에서 연간 70개 정도의 선원이 분실되고 있다는 연구결과를 발표했습니다. 물론 대부분의 무적 선원들은 방사능위험이 적지만 무적선원으로 인한 사고는 큰 관심 대상입니다.

전 세계의 심각한 방사선 사고 평가*

사고 유형	1945-1965	1966-1986	1987-2007
핵시설 사고	19	12	4
산업 재해	2	50	28
무적선원 사고	3	15	16
학술/연구 사고	2	16	4
의료 사고	불분명	18	14

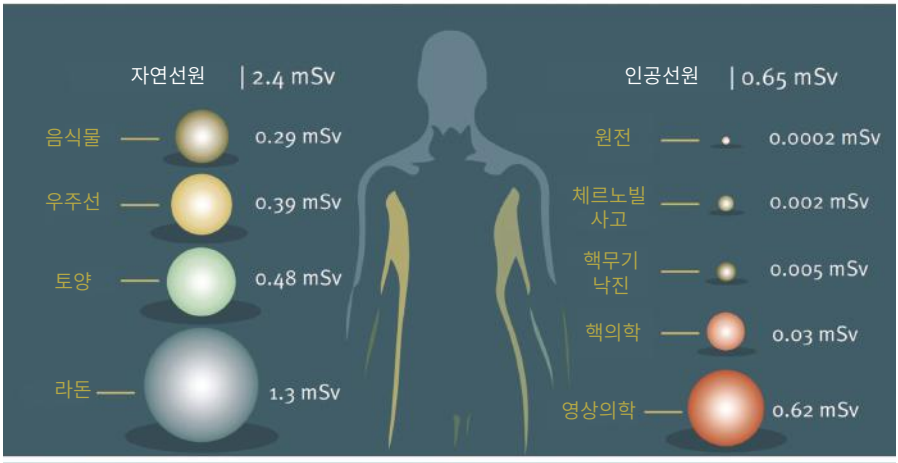
*공식적으로 보고되거나 공개된 사고 기준. 보고되지 않은 사고는 더 많을 것으로 예상.
특히 의료 분야의 미보고 사고는 더 많을 것으로 예상.

밀봉된 선원 혹은 선원을 밀봉한 용기는 값비싼 금속으로 만든 것처럼 보이고 방사선경고 표지가 붙어있지 않은 경우가 있기 때문에 고철상의 관심을 끌 수 있습니다. 1987년 브라질 고이아니아 사고와 같이 아무것도 모르는 종사자나 일반인이 방사선원에 손을 댄 경우, 심각한 부상이나 사망까지 발생하는 사고로 이어졌습니다. 버려진 원격방사선요법 장치에 있던 고방사성 세슘-137(50.9TBq)이 도난 당했고 선원을 밀봉한 용기가 열렸습니다. 그 후 2주 동안 가용성 염화세슘 분진이 고철상과 주변 주택들에 퍼졌습니다. 수 많은 사람들에게 질병과 피부병변이 발생했고, 대부분 세슘-137에 내부피폭된 11만 명은 감시를 받아야만 했습니다. 이 사고로 인해 4명이 사망했고 그 중 한 명은 어린이였습니다.

3.3. 일반대중과 종사자의 평균 방사선 피폭

일반적으로 대중들이 받는 방사선량의 대부분은 자연선량입니다. 유엔방사선영향과학위원회는 개인별 평균 유효선량이 연간 약 3mSv라고 평가하였습니다. 평균적으로 연간 자연선량은 2.4mSv 이며 그 중 2/3는 우리가 숨쉬는 공기, 섭취하는 음식물로부터 나오는 선량입니다. 인공선원의 가장 큰 부분을 차지하는 것은 의료용 방사선이면, 개인별 연평균 유효선량은 0.62mSv입니다. 의료 방사선 피폭은 지역, 국가, 의료체계에 따라 차이가 있습니다. 유엔방사선영향과학위원회는 선진국의 경우 의료 방사선 피폭으로 인한 연평균 유효선량이 1.9mSv 이며 비산업화 국가의 경우 연평균 0.32mSv라고 평가했습니다. 물론 이 수치는 차이가 매우 클 것입니다(예를 들어 미국에서는 3mSv 이지만 케냐의 경우 단지 0.05mSv 밖에 되지 않음).

대중의 방사선원 별 평균 피폭선량*



* 전 세계 연평균 개인별 유효선량을 반올림한 결과

종사자 피폭의 경우 1990년대까지 인공방사선에만 주목했습니다. 하지만 현재는 많은 수의 종사자들, 특히 광업 종사자들이 자연방사선에 피폭 받는다는 사실을 깨달았습니다. 광업 중 일부 분야에서는 라돈가스 흡입이 직장에서의 방사선 피폭에 대부분을 차지합니다. 지하 우라늄 광산에서 방출되는 라돈 가스는 원자력 산업의 직업상 피폭의 상당부분을 차지하지만 원자력종사자들의 연평균유효선량은 1970년대 4.4mSv에서 현재 1mSv로 감소했습니다. 하지만 여전히 석탄광부가 받는 평균 유효선량은 2.4mSv 이며 다른 광부들은 3mSv 입니다.

현재 방사선량이 관리되고 있는 종사자들은 전 세계적으로 약 2천3백만 명에 이르며, 이 중 천만 명은 인공선원에 의해 피폭됩니다. 인공선원 피폭 인원의 3/4은 의료용 인공선원에 의해 피폭되며 종사자 별 연평균 유효선량은 0.5mSv 입니다. 종사자 별 연평균 유효선량의 추세를 분석해보면 자연선원으로 인한 선량은 주로 광업으로 인해 증가하였으며, 인공 선원으로 인한 선량은 방사선방호 조치를 성공적으로 이행한 덕분에 감소하였습니다.

대중의 방사선원 별 평균 피폭선량*

선원	1970s	1970s	1990s	2000s
자연선원				
승무원	-	3.0	3.0	3.0
석탄 채굴	-	0.9	0.7	2.4
기타 채굴**	-	1.0	2.7	3.0
기타	-	6.0	4.8	4.8
합계	-	1.7	1.8	2.9
인공선원				
의료용	0.8	0.6	0.3	0.5
원자력 산업	4.4	3.7	1.8	1.0
기타 산업용	1.6	1.4	0.5	0.3
기타	1.1	0.6	0.2	0.1
합계	1.7	1.4	0.6	0.5

* 종사자 별 연평균 유효선량 평가
** 우라늄 채굴은 원자력 산업에 포함

UNSCEAR PUBLICATIONS

설립 이후, 유엔방사선영향과학위원회는 25편 이상의 주요 보고서와 100편 이상의 부속문서를 출판했습니다. 유엔방사선영향과학위원회의 출판물들은 핵무기와 원자력발전, 의료방사선, 인공선원, 자연선원으로 인한 방사선 피폭을 평가하는 데 활용되는 권위 있는 핵심자료로 간주되고 있습니다.

뿐만 아니라 방사선으로 인해 발병한 암과 유전질병에 대한 상세한 연구들을 평가하고 방사선사고로 인해 건강과 환경에 미치는 영향을 평가하였습니다.

연구결과를 널리 알림으로써 유엔가입국, 과학계, 대중에게 혜택이 돌아갈 수 있도록 하기 위해, 유엔방사선영향과학위원회의 보고서와 부속문서는 유엔 판매용 출판물(unp.un.org)을 통해 출판되었으며 전자문서(unscear.org) 로는 무료로 다운받아 보실 수 있습니다.

본 책자에 대한 피드백이나 문의사항이 있으시면 아래의 연락처 :

to: UNSCEAR secretariat
UNSCEAR secretariat
Vienna International Centre
P.O. Box 500
1400 Vienna, Austria
E-mail: unscear@unscear.org

1955년, 유엔총회는 전리방사선의 영향과 준위에 대한 정보를 수집하고 평가하기 위해 유엔방사선영향과학위원회를 설립하였습니다.

이는 대기 중 핵실험으로 인해 발생한 낙진이 공기, 물, 음식물을 통해 사람들에게 영향을 미치게 되면서, 전리방사선이 인체 건강과 환경에 미치는 영향으로부터의 걱정에 대한 대응이었습니다. 유엔방사선영향과학위원회의 첫 번째 보고서는 대기 중 핵무기 실험을 금지하는 부분 핵실험 금지조약(1963) 협의의 과학적 근거로 활용되었습니다.

본 책자는 방사선의 준위와 영향에 대해 객관적으로 제시하되 일반 독자도 쉽게 이해할 수 있도록 작성하였습니다. 본 책자는 유엔방사선영향과학위원회의 과학보고서를 기반으로 제작되었습니다.