(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년03월23일
(11) 등록번호 10-1841649
(24) 등록일자 2018년03월19일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 23/22 (2018.01) *G01N 23/225* (2018.01)
G01T 7/02 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01N 23/2208 (2013.01)
G01N 23/2251 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2016-0153095
(22) 출원일자 2016년11월17일
심사청구일자 2016년11월17일
(56) 선행기술조사문헌
KR100795183 B1*
JP07231884 A*
JP2016033459 A
전국환경방사능조사, 한국원자력안전기술원, 2014년 12월*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
울산과학기술원
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(72) 발명자
김희령
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
배준우
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(74) 대리인
제일특허법인

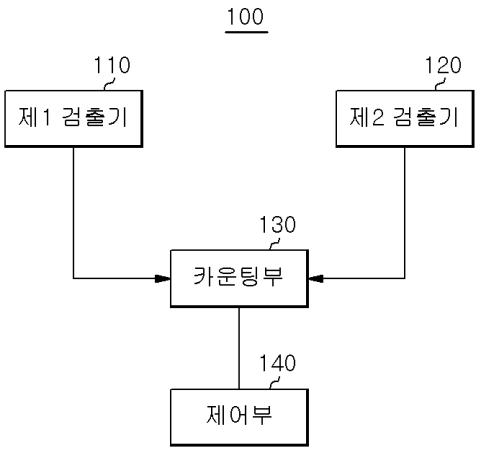
전체 청구항 수 : 총 8 항 심사관 : 최종운

(54) 발명의 명칭 **핵종 분석 방법 및 장치**

(57) 요 약

본 발명의 일 실시예에 따른 베타선 및 감마선의 에너지를 동시에 측정하는 제1 검출기와, 베타선의 에너지를 측정하는 제2 검출기를 이용하여 핵종을 분석하는 방법은 제1 검출기에서 측정된 베타선 및 감마선의 에너지 별로 소정의 시간 동안 베타선 및 감마선의 감지 횟수를 카운팅한 제1 측정결과를 구하는 단계와, 제2 검출기에서 측정된 베타선의 에너지 별로 소정의 시간 동안 베타선의 감지 횟수를 카운팅한 제2 측정결과를 구하는 단계와, 제1 측정결과에서 제2 측정결과를 감산하여 감마선의 에너지 별로 소정의 시간 동안 감마선의 감지 횟수를 카운팅한 제3 측정결과를 구하는 단계와, 핵종별 방사선 에너지 정보를 포함하는 라이브러리를 참조하여, 제3 측정결과로부터 베타선 및 감마선 방출 핵종을 판별하는 단계를 포함한다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
G01T 7/02 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 2015M2A8A5022235
부처명 미래창조과학부
연구관리전문기관 한국연구재단
연구사업명 원자력국제협력기반조성사업
연구과제명 부지 내부 베타선 깊이 분포 측정기술 개발
기 여 율 1/1
주관기관 한국원자력연구원
연구기간 2016.03.01 ~ 2017.02.28

명 세 서

청구범위

청구항 1

삭제

청구항 2

베타선 및 감마선의 에너지를 동시에 측정하는 제1 검출기와, 베타선의 에너지를 측정하는 제2 검출기를 이용하여 핵종을 분석하는 방법에 있어서,

상기 제1 검출기에서 측정된 상기 베타선 및 감마선의 에너지 별로, 소정의 시간 동안 상기 베타선 및 감마선의 감지 횟수를 카운팅한 제1 측정결과를 구하는 단계와,

상기 제2 검출기에서 측정된 상기 베타선의 에너지 별로, 상기 소정의 시간 동안 상기 베타선의 감지 횟수를 카운팅한 제2 측정결과를 구하는 단계와,

상기 제1 측정결과에서 상기 제2 측정결과를 감산하여 감마선의 에너지 별로, 상기 소정의 시간 동안 상기 감마선의 감지 횟수를 카운팅한 제3 측정결과를 구하는 단계와,

핵종별 방사선 에너지 정보를 포함하는 라이브러리를 참조하여, 상기 제3 측정결과로부터 베타선 및 감마선 방출 핵종을 판별하는 단계와,

상기 제1 검출기 및 상기 제2 검출기의 위치에 따른, 상기 감마선의 에너지 별 상기 감마선의 감지 횟수를 측정하여, 상기 위치에 따른 상기 베타선 및 감마선 방출 핵종의 분포량을 판별하는 단계를 포함하는

핵종 분석 방법.

청구항 3

베타선 및 감마선의 에너지를 동시에 측정하는 제1 검출기와, 베타선의 에너지를 측정하는 제2 검출기를 이용하여 핵종을 분석하는 방법에 있어서,

상기 제1 검출기에서 측정된 상기 베타선 및 감마선의 에너지 별로, 소정의 시간 동안 상기 베타선 및 감마선의 감지 횟수를 카운팅한 제1 측정결과를 구하는 단계와,

상기 제2 검출기에서 측정된 상기 베타선의 에너지 별로, 상기 소정의 시간 동안 상기 베타선의 감지 횟수를 카운팅한 제2 측정결과를 구하는 단계와,

상기 제1 측정결과에서 상기 제2 측정결과를 감산하여 감마선의 에너지 별로, 상기 소정의 시간 동안 상기 감마선의 감지 횟수를 카운팅한 제3 측정결과를 구하는 단계와,

핵종별 방사선 에너지 정보를 포함하는 라이브러리를 참조하여, 상기 제3 측정결과로부터 베타선 및 감마선 방출 핵종을 판별하는 단계와,

상기 라이브러리로부터 도출된 베타선 및 감마선 방출 핵종의 감마선에 대한 베타선의 방출 비율을 기초로, 상기 제2 측정결과에서 상기 베타선 및 감마선 방출 핵종에 의한 베타선의 감지 횟수를 감산하여 제4 측정결과를 구하는 단계와,

상기 라이브러리를 참조하여, 상기 제4 측정결과로부터 순수 베타선 방출 핵종을 판별하는 단계를 포함하는

핵종 분석 방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 제1 검출기 및 상기 제2 검출기의 위치에 따른, 상기 베타선의 에너지 별 상기 베타선의 감지 횟수를 판별하여, 상기 위치에 따른 상기 순수 베타선 방출 핵종의 분포량을 판별하는 단계를 더 포함하는

핵종 분석 방법.

청구항 5

삭제

청구항 6

베타선 및 감마선의 에너지를 동시에 측정하는 제1 검출기와,

베타선의 에너지만을 측정하는 제2 검출기와,

상기 제1 검출기에서 측정된 상기 베타선 및 감마선의 에너지 별로, 소정의 시간 동안 상기 베타선 및 감마선의 감지 횟수를 카운팅한 제1 측정결과 및 상기 제2 검출기에서 측정된 상기 베타선의 에너지 별로, 상기 소정의 시간 동안 상기 베타선의 감지 횟수를 카운팅한 제2 측정결과를 구하는 카운팅부와,

핵종별 방사선 에너지 정보를 포함하는 라이브러리를 참조하여, 상기 제1 측정결과에서 상기 제2 측정결과를 감산하여 감마선의 에너지 별로 상기 소정의 시간 동안 상기 감마선의 감지 횟수를 카운팅한 제3 측정결과로부터 베타선 및 감마선 방출 핵종을 판별하는 제어부를 포함하고,

상기 제어부는,

상기 제1 검출기 및 상기 제2 검출기의 위치에 따른, 상기 감마선의 에너지 별 상기 감마선의 감지 횟수를 측정하여, 상기 위치에 따른 상기 베타선 및 감마선 방출 핵종의 분포량을 판별하는

핵종 분석 장치.

청구항 7

베타선 및 감마선의 에너지를 동시에 측정하는 제1 검출기와,

베타선의 에너지만을 측정하는 제2 검출기와,

상기 제1 검출기에서 측정된 상기 베타선 및 감마선의 에너지 별로, 소정의 시간 동안 상기 베타선 및 감마선의 감지 횟수를 카운팅한 제1 측정결과 및 상기 제2 검출기에서 측정된 상기 베타선의 에너지 별로, 상기 소정의 시간 동안 상기 베타선의 감지 횟수를 카운팅한 제2 측정결과를 구하는 카운팅부와,

핵종별 방사선 에너지 정보를 포함하는 라이브러리를 참조하여, 상기 제1 측정결과에서 상기 제2 측정결과를 감산하여 감마선의 에너지 별로 상기 소정의 시간 동안 상기 감마선의 감지 횟수를 카운팅한 제3 측정결과로부터 베타선 및 감마선 방출 핵종을 판별하는 제어부를 포함하고,

상기 제어부는,

상기 라이브러리로부터 도출된 베타선 및 감마선 방출 핵종의 감마선에 대한 베타선 방출 비율을 기초로, 상기 제2 측정결과에서 상기 베타선 및 감마선 방출 핵종에 의한 베타선의 감지 횟수를 감산한 제4 측정결과를 구하여, 상기 제4 측정결과로부터 상기 라이브러리를 통해 순수 베타선 방출 핵종을 도출하는

핵종 분석 장치.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 제어부는,

상기 제1 검출기 및 상기 제2 검출기의 위치에 따른, 상기 베타선의 에너지 별 상기 베타선의 감지 횟수를 판별하여, 위치에 따른 상기 순수 베타선 방출 핵종의 분포량을 판별하는

핵종 분석 장치.

청구항 9

제2항 내지 제4항 중 어느 한 항의 방법을 프로세서가 수행하도록 하는 컴퓨터 판독 가능 기록매체에 저장된 프로그램.

청구항 10

제2항 내지 제4항 중 어느 한 항의 방법을 프로세서가 수행하게 하는 명령어를 포함하는 프로그램이 기록된 컴퓨터 판독 가능 기록매체.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 핵종 분석 방법 및 장치에 관한 것으로서, 보다 자세하게는 방사선을 측정하는 검출기를 통해 측정한 위치에서의 방사선의 에너지 및 감지 횟수로부터 베타선 및 감마선 방출 핵종 및 순수 베타선 방출 핵종을 판별하고, 깊이에 따른 핵종의 분포량을 판별하는 핵종 분석 방법 및 장치에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0003] 방사선을 방출하는 핵종 중에는 베타선과 감마선을 동시에 방출하는 핵종(이하, '베타선 및 감마선 방출 핵종') 및 베타선만을 방출하는 핵종(이하, '순수 베타선 방출 핵종')이 있다. 다만, 현재 방사선 검출기는 순수하게 감마선만을 측정할 수 없어, 베타선 및 감마선 방출 핵종 및 순수 베타선 방출 핵종을 구분하기가 어려운 문제점이 있다.

[0004] 이에, 기존의 방사선 방출 핵종의 분석은 대부분 시료를 채집 후, 실험실에서의 분석에 의존하였다. 실험실에서 베타선 및 감마선 방출 핵종은 주로 고순도 게르마늄 (High purity germanium; HPGe) 검출기를 활용하여 분석하며, 순수 베타선 방출 핵종은 물리, 화학적 전처리 과정을 거쳐 시료를 단일 핵종화 시킨 후 액체 섬광 계수기 (Liquid scintillation counter; LSC)를 활용하여 분석하였다.

[0005] 그러나 이러한 분석법은 시료 채집 후 실험실까지 오는 과정에서의 시간 소요가 크며, 특히 깊이 분포 측정을 위한 시료 채집의 경우 채집 과정 중 시료가 교란될 수 있는 위험성이 매우 높다. 또한 순수 베타선 방출 핵종의 경우 특히 물리, 화학적 전처리 과정이 매우 복잡하여 오랜 시간이 소요된다는 단점이 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명의 실시예에서 해결하고자 하는 과제는 현재 방사선 검출기가 순수하게 감마선만을 측정할 수 없어, 베타선 및 감마선 방출 핵종 및 순수 베타선 방출 핵종을 구분하기가 어려운 문제점를 해결하는 기술을 제공하는 것이다.

[0008] 또한 현장에서 직접 핵종을 분석할 수 없고, 시료를 채집하여 실험실에서 분석함에 따라 시간이 소요되는 문제 및 시료 채집 과정 중 시료가 교란되어 분석의 오류가 발생하는 문제를 해결하는 기술을 제공하고자 한다.

[0009] 다만, 본 발명의 실시예가 이루고자 하는 기술적 과제는 이상에서 언급한 과제로 제한되지 않으며, 이하에서 설명할 내용으로부터 통상의 기술자에게 자명한 범위 내에서 다양한 기술적 과제가 도출될 수 있다.

과제의 해결 수단

[0011] 일 실시예에 따른 베타선 및 감마선의 에너지를 동시에 측정하는 제1 검출기와, 베타선의 에너지를 측정하는 제2 검출기를 이용하여 핵종을 분석하는 방법은 상기 제1 검출기에서 측정된 상기 베타선 및 감마선의 에너지 별로, 소정의 시간 동안 상기 베타선 및 감마선의 감지 횟수를 카운팅한 제1 측정결과를 구하는 단계와, 상기 제2 검출기에서 측정된 상기 베타선의 에너지 별로, 상기 소정의 시간 동안 상기 베타선의 감지 횟수를 카운팅한 제2 측정결과를 구하는 단계와, 상기 제1 측정결과에서 상기 제2 측정결과를 감산하여 감마선의 에너지 별로, 상기 소정의 시간 동안 상기 감마선의 감지 횟수를 카운팅한 제3 측정결과를 구하는 단계와, 핵종별 방출 방사선 에너지 정보를 포함하는 라이브러리를 참조하여, 상기 제3 측정결과로부터 베타선 및 감마선 방출 핵종을 판별하는 단계를 포함한다.

[0012] 이때 상기 제1 검출기 및 상기 제2 검출기의 위치에 따른, 상기 감마선의 에너지 별 상기 감마선의 감지 횟수를 측정하여, 상기 위치에 따른 상기 베타선 및 감마선 방출 핵종의 분포량을 판별하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0013] 또한 상기 라이브러리로부터 상기 도출된 베타선 및 감마선 방출 핵종의 감마선에 대한 베타선의 방출 비율을 기초로, 상기 제2 측정결과에서 상기 베타선 및 감마선 방출 핵종에 의한 베타선의 감지 횟수를 감산하여 제4 측정결과를 구하는 단계와, 상기 라이브러리를 참조하여, 상기 제4 측정결과로부터 순수 베타선 방출 핵종을 판별하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0014] 이때 상기 제1 검출기 및 상기 제2 검출기의 위치에 따른, 상기 베타선의 에너지 별 상기 베타선의 감지 횟수를 판별하여, 상기 위치에 따른 상기 순수 베타선 방출 핵종의 분포량을 판별하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0015] 일 실시예에 따른 핵종 분석 장치는 베타선 및 감마선의 에너지를 동시에 측정하는 제1 검출기와, 베타선만을 측정하는 제2 검출기와, 상기 제1 검출기에서 측정된 상기 베타선 및 감마선의 에너지 별로, 소정의 시간 동안 상기 베타선 및 감마선의 감지 횟수를 카운팅한 제1 측정결과 및 상기 제2 검출기에서 측정된 상기 베타선의 에너지 별로, 상기 소정의 시간 동안 상기 베타선의 감지 횟수를 카운팅한 제2 측정결과를 구하는 카운팅부와, 핵종별 방사선 에너지 정보를 포함하는 라이브러리를 참조하여, 상기 제1 측정결과에서 상기 제2 측정결과를 감산하여 감마선의 에너지 별로 상기 소정의 시간 동안 상기 감마선의 감지 횟수를 카운팅한 제3 측정결과로부터 베타선 및 감마선 방출 핵종을 판별하는 제어부를 포함한다.

[0016] 이때 상기 제어부는 상기 제1 검출기 및 상기 제2 검출기의 위치에 따른, 상기 감마선의 에너지 별 상기 감마선의 감지 횟수를 측정하여, 상기 위치에 따른 상기 베타선 및 감마선 방출 핵종의 분포량을 판별할 수 있다.

[0017] 또한 상기 제어부는 상기 라이브러리로부터 상기 도출된 베타선 및 감마선 방출 핵종의 감마선에 대한 베타선 방출 비율을 기초로, 상기 제2 측정결과에서 상기 베타선 및 감마선 방출 핵종에 의한 베타선의 감지 횟수를 감산한 제4 측정결과를 구하여, 상기 제4 측정결과로부터 상기 라이브러리를 통해 순수 베타선 방출 핵종을 도출할 수 있다.

[0018] 이때 상기 제어부는 상기 제1 검출기 및 상기 제2 검출기의 위치에 따른, 상기 베타선의 에너지 별 상기 베타선의 감지 횟수를 판별하여, 위치에 따른 상기 순수 베타선 방출 핵종의 분포량을 판별할 수 있다.

발명의 효과

[0020] 본 발명의 실시예에 따르면, 현장에서 전처리 없이 베타선 및 감마선 방출 핵종 및 순수 베타선 방출 핵종을 분리하여 판별할 수 있으며, 더하여 깊이에 따른 핵종의 분포량을 분석할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0022] 도 1은 일 실시예에 따른 핵종 분석 장치를 기능 블럭도이다.

도 2는 일 실시예에 따른 제1 검출기 또는 제2 검출기의 구성을 설명하기 위한 예시도이다.

도 3은 제1 검출기 또는 제2 검출기가 소정의 시간 동안 측정한 방사선에 따른 전압신호를 나타낸 그래프이다.

도 4는 일 실시예에 따른 핵종 분석 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

도 5는 제1 검출기에서 측정한 베타선 및 감마선의 에너지 별로 베타선 및 감마선의 감지 횟수를 카운팅한 제1 측정결과를 설명하기 위한 그래프이다.

도 6은 제2 검출기에서 측정한 결과에 따라 베타선의 에너지 별로 베타선의 감지 횟수를 카운팅한 제2 측정결과를 설명하기 위한 그래프이다.

도 7은 제1 측정결과에서 제2 측정결과를 감산하여 감마선의 에너지 별로 소정의 시간 동안 감마선의 감지 횟수를 카운팅한 제3 측정결과를 설명하기 위한 그래프이다.

도 8은 라이브러리로부터 도출된 감마선 방출 핵종의 감마선에 대한 베타선 방출 비율을 기초로, 제2 측정결과에서 베타선 및 감마선 방출 핵종에 의한 베타선의 감지 횟수를 감산한 제4 측정결과를 설명하기 위한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0023] 본 발명의 목적과 기술적 구성 및 그에 따른 작용 효과에 관한 자세한 사항은 본 발명의 명세서에 첨부된 도면에 의거한 이하의 상세한 설명에 의해 보다 명확하게 이해될 것이다. 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 실시예를 상세하게 설명한다.

[0024] 본 명세서에서 개시되는 실시예들은 본 발명의 범위를 한정하는 것으로 해석되거나 이용되지 않아야 할 것이다. 이 분야의 통상의 기술자에게 본 명세서의 실시예를 포함한 설명은 다양한 응용을 갖는다는 것이 당연하다. 따라서, 본 발명의 상세한 설명에 기재된 임의의 실시예들은 본 발명을 보다 잘 설명하기 위한 예시적인 것이며 본 발명의 범위가 실시예들로 한정되는 것을 의도하지 않는다.

[0025] 도면에 표시되고 아래에 설명되는 기능 블록들은 가능한 구현의 예들일 뿐이다. 다른 구현들에서는 상세한 설명의 사상 및 범위를 벗어나지 않는 범위에서 다른 기능 블록들이 사용될 수 있다. 또한, 본 발명의 하나 이상의 기능 블록이 개별 블록들로 표시되지만, 본 발명의 기능 블록들 중 하나 이상은 동일 기능을 실행하는 다양한 하드웨어 및 소프트웨어 구성들의 조합일 수 있다.

[0026] 또한, 어떤 구성요소들을 포함한다는 표현은 개방형의 표현으로서 해당 구성요소들이 존재하는 것을 단순히 지칭할 뿐이며, 추가적인 구성요소들을 배제하는 것으로 이해되어서는 안 된다.

[0027] 나아가 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 연결되어 있다거나 접속되어 있다고 언급될 때에는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 한다.

[0028] 또한 '제1, 제2' 등과 같은 표현은 복수의 구성들을 구분하기 위한 용도로만 사용된 표현으로써, 구성들 사이의 순서나 기타 특징들을 한정하지 않는다.

[0029] 이하에서는 도면들을 참조하여 본 발명의 실시예들에 대해 설명하도록 한다.

[0030] 도 1은 일 실시예에 따른 핵종 분석 장치(100)를 기능 블럭도이다.

[0031] 도 1을 참조하면, 일 실시예에 따른 핵종 분석 장치(100)는 제1 검출기(110), 제2 검출기(120), 카운팅부(130) 및 제어부(140)를 포함한다.

[0032] 제1 검출기(110)는 베타선 및 감마선의 에너지를 동시에 측정하고, 제2 검출기(120)는 베타선의 에너지만을 측정한다. 이때 도 2를 참조하면, 제1 검출기(110) 및 제2 검출기(120)는 섬광체(A), 광수송체(B) 및 광전자 증배관(C)을 포함할 수 있다.

[0033] 섬광체(A)는 핵종이 방출하는 방사선을 받아들여 광신호를 발산하는데, 예를 들면 가시광선 영역의 광신호를 발산할 수 있다. 이때 방사선은 베타선 및 감마선을 포함한다.

[0034] 한편, 베타선과 감마선이 혼재된 환경에서 제1 검출기(110)는 베타선과 감마선을 모두 받아들여 광신호를 발산하고, 제2 검출기(120)는 베타선 신호를 받아들여 광신호를 발산할 수 있도록, 각기 민감도가 서로 다른 섬광체(A)를 사용할 수 있다.

[0035] 예를 들면, 제1 검출기(110)의 섬광체(A)는 제2 검출기(120)의 섬광체(A)에 비해 상대적으로 밀도가 큰 (> 4.0 g/cm3) 무기 섬광체(A)를 사용하고, 제2 검출기(120)의 섬광체(A)는 밀도가 작은 (1.1±0.2 g/cm3) 플라스틱 섬광체(A)를 사용하여, 제1 검출기(110)의 섬광체(A)는 베타선 및 감마선을 모두 받아들일 수 있고, 제2 검출기(120)의 섬광체(A)는 베타선만 받아들일 수 있다.

[0036] 또한 제1 검출기(110) 및 제2 검출기(120)가 토양 내 깊이에 따른 분해능을 가질 수 있도록 섬광체(A)의 윗면과 아랫면에 콜리메이터를 결합할 수 있다. 콜리메이터가 결합된 면은 방사선이 투과할 수 없게 되므로 섬광체(A)는 윗면과 아랫면을 제외한 수평 방향으로부터 방사선을 받아들일 수 있다. 따라서 섬광체(A)가 토양 내에 침투한 깊이의 수평방향에서 방출되고 있는 방사선만 받아들이므로, 깊이에 따른 분해능을 가질 수 있다. 이때 콜리

메이터의 성분으로, 예를 들면 밀도가 커 방사선의 투과율이 적은 납 또는 텅스텐을 사용할 수 있다.

[0037] 광수송체(B)는 섬광체(A)가 받아들인 베타선 또는 감마선으로 인해 생성된 광신호가 광전자 증배관(C)까지 도달할 수 있도록 한다.

[0038] 광전자 증배관(C)은 광수송체(B)를 통해 전달된 광신호를 전기 신호로 전환 및 증폭하고, 전치증폭기를 통해 전기 신호를 전압 신호로 변환할 수 있다. 이때 변환된 전압신호는 다중파고분석기를 통해 그래프 형태로 변환할 수 있다.

[0039] 도 3은 제1 검출기(110) 또는 제2 검출기(120)가 소정의 시간 동안 측정한 방사선에 따른 전압신호를 나타낸 그래프이다.

[0040] 도 3을 참조하면, 광전자 증배관(C)은 시간에 따라 측정된 광신호를 전압 신호로 변환하여 나타낼 수 있으며, 이때 핵종에 따라 방산하는 베타선 또는 감마선의 에너지가 달라, 핵종 별로 전압 신호가 다르게 나타난다.

[0041] 이와 같이, 제1 검출기(110) 및 제2 검출기(120)를 토양 내에 일정 깊이 별로 삽입하여 전압 신호를 기록할 수 있으며, 이를 통해 토양 내 깊이 별로 방사선 데이터를 수집할 수 있다.

[0042] 한편, 제1 검출기(110)는 베타선 및 감마선을 구분하지 않고 모두 받아들여 전압 신호를 생성한 것이므로, 제1 검출기(110)를 통해 얻은 제1 그래프에는 베타선 및 감마선의 분리 없이 방사선의 에너지 및 감지 횟수가 한번에 측정되어 있다. 이때 제1 그래프에는 베타선 및 감마선을 동시에 방출하는 핵종(이하, '베타선 및 감마선 방출 핵종')에 의해 방출된 베타선 및 감마선의 전압 신호와, 순수하게 베타선만을 방출하는 핵종(이하, '순수 베타선 방출 핵종')에 의해 방출된 베타선에 의한 전압 신호가 혼재되어 있으므로, 제1 그래프의 정보만으로 측정된 방사선이 베타선에 의한 것인지 감마선에 의한 것인지 구분할 수 없으며, 또한 측정된 방사선이 베타선 및 감마선 방출 핵종이 방출한 방사선인지, 순수 베타선 방출 핵종이 방출한 방사선인지 구분할 수 없다.

[0043] 또한, 제2 검출기(120)는 베타선만을 받아들이므로, 제2 검출기(120)를 통해 얻은 제2 그래프는 베타선의 에너지 및 감지 횟수가 측정되어 있다. 이때 제2 그래프에는 베타선 및 감마선 방출 핵종에 의해 방출된 베타선과, 순수 베타선 방출 핵종에 의해 방출된 베타선에 의한 측정 결과가 혼재되어 있다. 따라서 제2 그래프의 정보만으로 측정된 베타선이 베타선 및 감마선 방출 핵종이 방출한 베타선인지, 순수 베타선 방출 핵종이 방출한 베타선인지 구분할 수 없다.

[0044] 다만, 제1 그래프에는 베타선 및 감마선에 의한 전압 신호가 모두 존재하나, 제2 그래프에는 감마선에 의한 전압 신호가 존재하지 않는다는 차이점을 고려하여, 제1 그래프 및 제2 그래프에서 방사선의 감지 횟수의 차이를 구하면, 감마선이 감지된 횟수를 구할 수 있다.

[0045] 이때 순수하게 감마선만을 방출하는 핵종은 존재하지 않으므로, 감마선이 감지된 횟수는 베타선 및 감마선 방출 핵종이 방출한 감마선에 의한 것이다.

[0046] 위와 같은 개념에 입각하여, 카운팅부(130)는 제1 검출기(110)에서 측정된 베타선 및 감마선의 에너지 별로 소정의 시간 동안 베타선 및 감마선의 감지 횟수를 카운팅한 제1 측정결과 및 제2 검출기(120)에서 측정된 베타선의 에너지 별로 소정의 시간 동안 베타선의 감지 횟수를 카운팅한 제2 측정결과를 구할 수 있다.

[0047] 제어부(140)는 핵종별 방사선 에너지 정보를 포함하는 라이브러리를 참조하여, 제1 측정결과에서 제2 측정결과를 감산하여 감마선의 에너지 별로 소정의 시간 동안 감마선의 감지 횟수를 카운팅한 제3 측정결과로부터 베타선 및 감마선 방출 핵종을 판별할 수 있다.

[0048] 또한 제어부(140)는 제1 검출기(110) 및 제2 검출기(120)의 깊이에 따른 감마선의 에너지 별 감마선의 감지 횟수 정보를 포함하는 제3 측정결과로부터, 깊이에 따른 베타선 및 감마선 방출 핵종의 분포량을 판별할 수 있다.

[0049] 라이브러리는 핵종별 방사선 에너지 정보를 저장하고 있다. 예를 들면, 어떠한 핵종이 어떠한 방사선을 방출하는지, 또한 그러한 방사선을 섬광체(A)로 받아들일 경우 어떠한 세기의 전압 신호로 측정되는지의 정보를 저장한다. 라이브러리는 핵종 분석 장치(100)에 포함된 메모리의 형태일 수 있으며, 또는 핵종 분석 장치(100) 외부의 데이터베이스 서버일 수 있으며, 핵종 분석 장치(100)와 통신망을 통해 정보를 송수신할 수 있다.

[0050] 더하여 제어부(140)는 라이브러리로부터 도출된 베타선 및 감마선 방출 핵종의 감마선에 대한 베타선 방출 비율을 기초로, 제2 측정결과에서 베타선 및 감마선 방출 핵종에 의한 베타선의 감지 횟수를 감산한 제4 측정결과를 구하여, 제4 측정결과로부터 라이브러리를 통해 순수 베타선 방출 핵종을 도출할 수 있다.

[0051] 또한 제어부(140)는 제1 검출기(110) 및 제2 검출기(120)의 깊이에 따른 베타선의 에너지 별 베타선의 감지 횟수 정보를 포함하는 제4 측정결과로부터, 깊이에 따른 순수 베타선 방출 핵종의 분포량을 판별할 수 있다.

[0052] 이상, 카운팅부(130) 및 제어부(140)에 대해서는 설명을 개략적으로 하였으나, 보다 자세한 설명을 도 4와 함께 수행 단계를 나누어 구체적으로 설명하기로 한다.

[0053] 한편 상술한 실시예가 포함하는 카운팅부(130) 및 제어부(140)는 이들의 기능을 수행하도록 프로그램된 명령어를 포함하는 메모리, 및 이들 명령어를 수행하는 마이크로프로세서를 포함하는 연산 장치에 의해 구현될 수 있다.

[0054] 도 4는 일 실시예에 따른 핵종 분석 방법을 설명하기 위한 흐름도이다. 도 4에 따른 핵종 분석 방법은 도 1을 통해 설명된 핵종 분석 장치(100)에 의해 수행될 수 있으며, 각 단계를 설명하면 다음과 같다.

[0055] 우선, 제1 검출기(110)를 토양 속에 삽입하여 소정의 시간 동안 베타선 및 감마선의 에너지를 측정할 수 있고(S410), 제2 검출기(120)를 동일한 위치에 삽입하여 소정의 시간 동안 베타선의 에너지를 측정할 수 있다(S420). 이때 S410과 S420 단계는 시계열적 순서에 한정되지 않으며, 동시에 동일한 위치에서 동일한 시간만큼 측정한 결과를 사용할 수 있다. 또한 핵종이 같은 위치에서 동일한 시간 동안 방출하는 방사선의 에너지 및 양은 토양 환경이 변하지 않는 한 일정하므로, 같은 위치에서 순차적으로 측정할 수도 있다.

[0056] 도 5는 제1 검출기(110)에서 측정한 베타선 및 감마선의 에너지 별로, 베타선 및 감마선의 감지 횟수를 카운팅한 제1 측정결과를 설명하기 위한 그래프이다.

[0057] 도 5를 참조하면, 카운팅부(130)는 제1 검출기(110)에서 측정된 베타선 및 감마선의 에너지 별로, 소정의 시간 동안 베타선 및 감마선의 감지 횟수를 카운팅한 제1 측정결과를 도출할 수 있다(S430).

[0058] 예를 들어, 제1 검출기(110)에서 소정 시간 동안 측정된 방사선의 에너지가 도 3과 같은 경우, 600~700 keV 가 5번, 1100~1300 keV가 4번, 1500~1600 keV가 2번 측정되었으므로, 방사선의 에너지 별로 방사선의 감지 횟수를 도 5와 같이 카운팅할 수 있다. 이때 방사선에는 제1 검출기(110)가 베타선 및 감마선의 구분 없이 측정하기에 베타선과 감마선이 혼재되어 있으며, 따라서 제1 검출기(110)에서 측정한 값은 베타선에 의한 전압 신호와 감마선에 의한 전압 신호가 혼재되어 있는 상태이다.

[0059] 도 6은 제2 검출기(120)에서 측정한 결과에 따라 베타선의 에너지 별로, 베타선의 감지 횟수를 카운팅한 제2 측정결과를 설명하기 위한 그래프이다.

[0060] 도 6을 참조하면, 카운팅부(130)는 제2 검출기(120)에서 측정된 베타선의 에너지 별로, 소정의 시간 동안 베타선의 감지 횟수를 카운팅한 제2 측정결과를 도출할 수 있다(S440).

[0061] 제2 검출기(120)는 베타선만 측정하며, 예를 들면 도 6과 같이 제2 검출기(120)에서 소정 시간 동안 측정된 베타선의 에너지를 600~700 keV 가 4번, 1100~1300 keV가 2번, 1500~1600 keV가 2번이라고 카운팅할 수 있다.

[0062] 이때 S430과 S440 단계는 시계열적 순서에 한정되지 않는다.

[0063] 한편, 제1 검출기(110)를 통해 얻은 제1 그래프에는 베타선 및 감마선에 의한 전압 신호가 모두 존재하나, 제2 검출기(120)를 통해 얻은 제2 그래프에는 감마선에 의한 전압 신호가 존재하지 않는다는 점을 이용하면, 제1 및 제2 그래프에서 감지된 방사선의 차이를 구하여, 감마선에 의한 전압 신호를 구할 수 있다.

[0064] 도 7은 제1 측정결과에서 제2 측정결과를 감산하여 감마선의 에너지 별로 소정의 시간 동안 감마선의 감지 횟수를 카운팅한 제3 측정결과를 설명하기 위한 그래프이다.

[0065] 도 7을 참조하면, 제어부(140)는 제1 측정결과에서 제2 측정결과를 감산하여 감마선의 에너지 별로, 소정의 시간 동안 감마선의 감지 횟수를 카운팅한 제3 측정결과를 도출할 수 있다(S450).

[0066] 제1 측정결과는 베타선 및 감마선을 모두 측정할 수 있는 제1 검출기(110)에 의해 소정 시간 동안 측정한 베타선 및 감마선의 에너지 별로 베타선 및 감마선의 감지 횟수를 카운팅한 결과이며, 제2 측정결과는 베타선만 측정할 수 있는 제2 검출기(120)에 의해 소정 시간 동안 측정한 베타선의 에너지 별로 베타선의 감지 횟수를 카운팅한 결과이다. 따라서 제1 측정결과의 에너지별 카운팅 값에서 제2 측정결과의 에너지별 카운팅 값을 빼면, 감마선의 에너지 별 감마선의 감지 횟수가 카운팅된 제3 측정결과가 도출된다.

[0067] 예를 들어, 도 5의 제1 측정결과에서는 소정의 시간 동안 베타선 및 감마선에 의해 제1 검출기(110)에서 발생한 전압이 600~700 keV 가 5번, 1100~1300 keV가 4번, 1500~1600 keV가 2번 측정되었으며, 도 6의 제2 측정결과에

서는 소정의 시간 동안 베타선에 의해 제2 검출기(120)에서 발생한 전압이 600~700 keV 가 4번, 1100~1300 keV 가 2번, 1500~1600 keV가 2번이므로, 제1 측정결과에서 제2 측정결과를 감산하면, 도 7과 같이 600~700 keV 가 1번, 1100~1300 keV가 2번, 1500~1600 keV가 0번 카운팅된 제3 측정결과를 도출할 수 있다. 이를 통해 소정 시간 동안, 감마선에 의해 카운팅된 결과는 600~700 keV 가 3번, 1100~1300 keV가 2번임을 확인할 수 있다.

[0068] 이후, 제어부(140)는 핵종별 방사선 에너지 정보를 포함하는 라이브러리를 참조하여, 제3 측정결과로부터 베타선 및 감마선 방출 핵종을 판별할 수 있다(S460).

[0069] 베타선 및 감마선을 동시에 방출하는 베타선 및 감마선 방출 핵종과 베타선만을 방출하는 순수 베타선 방출 핵종은 존재하지만, 감마선만을 방출하는 핵종은 존재하지 않는다. 따라서 감마선에 대한 정보만을 포함하는 제3 측정결과로부터 핵종별 방사선 에너지 정보를 저장하고 있는 라이브러리를 참조하여, 제3 측정결과에 포함된 베타선 및 감마선 방출 핵종을 도출할 수 있다.

[0070] 예를 들어, 라이브러리에 세슘이 방출하는 감마선이 600~700 keV 의 전압 신호로 측정되고, 코발트가 방출하는 감마선이 1100~1300 keV 의 전압 신호로 측정된다고 저장되어 있다면, 도 7의 제3 측정결과를 통해, 핵종 분석 장치(100)를 통해 측정한 깊이에서는 베타선 및 감마선 방출 핵종으로서 세슘 및 코발트가 존재함을 도출할 수 있다.

[0071] 한편, 제2 검출기(120)는 베타선만을 받아들이므로, 제2 측정결과에는 베타선의 에너지에 따른 감지 횟수가 카운팅되어 있다. 이때 제2 측정결과에는 베타선 및 감마선 방출 핵종에 의해 방출된 베타선과, 순수 베타선 방출 핵종에 의해 방출된 베타선에 의한 감지 횟수가 혼재되어 카운팅되어 있다.

[0072] 이때 S460 단계를 통해 베타선 및 감마선 방출 핵종을 도출하였으며, 라이브러리는 베타선 및 감마선 방출 핵종이 방출하는 베타선/감마선의 비율 및 각각의 에너지를 저장하고 있으므로, 제어부(140)는 라이브러리로부터 도출된 감마선 방출 핵종의 감마선에 대한 베타선 방출 비율을 기초로, 제2 측정결과에서 베타선 및 감마선 방출 핵종에 의한 베타선의 감지 횟수를 감산하여 제4 측정결과를 도출할 수 있다(S470).

[0073] 예를 들어, 설명의 편의를 위해 세슘이 방출하는 베타선과 감마선에 의해 측정되는 전압 신호는 600~700 keV, 코발트가 방출하는 베타선과 감마선에 의해 측정되는 전압 신호는 1100~1300keV로 동일하다고 가정한다. 이때, 도 7의 제3 측정결과에 따라 베타선 및 감마선 방출 핵종으로 세슘과 코발트가 존재하므로, 라이브러리를 참조하였을 때 세슘이 방출하는 감마선과 베타선의 비율이 1:1 이고, 코발트가 방출하는 감마선과 베타선의 비율이 2:1 라면, 세슘의 경우 도 7에서 감마선의 감지 횟수가 1회이므로, 베타선은 1회 방출하였음을 예상할 수 있고, 코발트의 경우 도 7에서 감마선의 감지 횟수가 2회이므로, 베타선은 1회 방출하였음을 알 수 있다.

[0074] 이를 통해, 제2 측정결과에서 감마선 방출 핵종에 의한 베타선의 감지 횟수를 감산하여, 도 8과 같이 제4 측정결과를 도출할 수 있고, 제4 측정결과에는 베타선 및 감마선 방출 핵종이 방출한 베타선의 감지 횟수는 감산되어 있으므로, 순수 베타선 방출 핵종에 의해 감지된 카운팅 수만 남게 된다.

[0075] 이에, 제어부(140)는 라이브러리를 참조하여, 제4 측정결과로부터 순수 베타선 방출 핵종을 판별할 수 있다(S480).

[0076] 더하여 제1 검출기(110) 및 제2 검출기(120)의 측정 깊이에 따른, 감마선의 에너지 별 감마선의 감지 횟수를 측정하여, 깊이에 따른 베타선 및 감마선 방출 핵종의 분포량을 판별할 수 있다(S490).

[0077] 제3 측정결과의 감마선 카운팅 수는 베타선 및 감마선 방출 핵종의 분포량과 비례한다. 따라서 제1 검출기(110) 및 제2 검출기(120)의 측정 깊이에 따라 제3 측정결과의 카운팅 수가 변할 것이다.

[0078] 예를 들어 지면으로부터 10cm 밑의 지점에서 소정 시간동안 측정한 결과 제3 측정결과의 600~700keV 에너지의 카운팅 수가 3회이고, 지면으로부터 50cm 밑의 지점에서 소정 시간동안 측정한 결과 제3 측정결과의 600~700keV 에너지의 카운팅 수가 30회이면, 600~700keV의 감마선을 방출하는 세슘이 지면으로부터 50cm 밑 지점에서 10cm 밑 지점보다 약 10배 많은 것으로 분석할 수 있으므로, 이러한 방식으로 깊이별 베타선 및 감마선 방출 핵종의 분포량을 측정할 수 있다.

[0079] 아울러 제1 검출기(110) 및 제2 검출기(120)의 측정 깊이에 따른, 베타선의 에너지 별 베타선의 감지 횟수를 판별하여, 깊이에 따른 순수 베타선 방출 핵종의 분포량을 판별할 수 있다(S495).

[0080] 제4 측정결과의 베타선 카운팅 수는 순수 베타선 방출 핵종의 분포량과 비례한다. 따라서 제1 검출기(110) 및 제2 검출기(120)의 측정 깊이에 따라 제4 측정결과의 카운팅 수가 변할 것이며, S490 단계에서 든 예시와 같이,

S495 단계는 제4 측정결과를 기준으로 깊이별 순수 베타선 방출 핵종의 분포량을 측정할 수 있다.

[0081] 이와 같이 상술한 실시예에 따르면, 현장에서 전처리 없이 베타선 및 감마선 방출 핵종 및 순수 베타선 방출 핵종을 분리하여 판별할 수 있으며, 더하여 깊이에 따른 핵종의 분포량을 분석할 수 있다.

[0082] 상술한 본 발명의 실시예들은 다양한 수단을 통해 구현될 수 있다. 예를 들어, 본 발명의 실시예들은 하드웨어, 펌웨어(firmware), 소프트웨어 또는 그것들의 결합 등에 의해 구현될 수 있다.

[0083] 하드웨어에 의한 구현의 경우, 본 발명의 실시예들에 따른 방법은 하나 또는 그 이상의 ASICs(Application Specific Integrated Circuits), DSPs(Digital Signal Processors), DSPDs(Digital Signal Processing DkeVices), PLDs(Programmable Logic DkeVices), FPGAs(Field Programmable Gate Arrays), 프로세서, 컨트롤러, 마이크로 컨트롤러, 마이크로 프로세서 등에 의해 구현될 수 있다.

[0084] 펌웨어나 소프트웨어에 의한 구현의 경우, 본 발명의 실시예들에 따른 방법은 이상에서 설명된 기능 또는 동작들을 수행하는 모듈, 절차 또는 함수 등의 형태로 구현될 수 있다. 소프트웨어 코드는 메모리 유닛에 저장되어 프로세서에 의해 구동될 수 있다. 상기 메모리 유닛은 상기 프로세서 내부 또는 외부에 위치하여, 이미 공지된 다양한 수단에 의해 상기 프로세서와 데이터를 주고 받을 수 있다.

[0085] 이와 같이, 본 발명이 속하는 기술분야의 당업자는 본 발명이 그 기술적 사상이나 필수적 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 실시될 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적인 것이 아닌 것으로서 이해해야만 한다. 본 발명의 범위는 상기 상세한 설명보다는 후술하는 특허청구범위에 의하여 나타내어지며, 특허청구범위의 의미 및 범위 그리고 그 등가개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태가 본 발명의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 한다.

부호의 설명

[0087] 100: 핵종 분석 장치

110: 제1 검출기

120: 제2 검출기

130: 카운팅부

140: 제어부

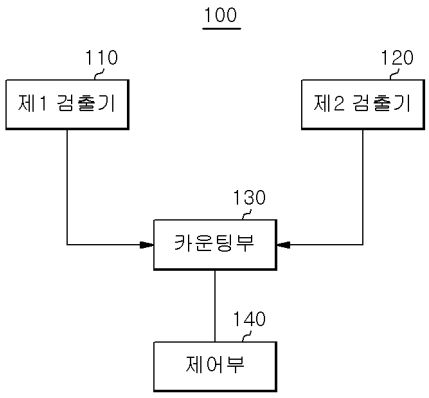
A: 섬광체

B: 광수송체

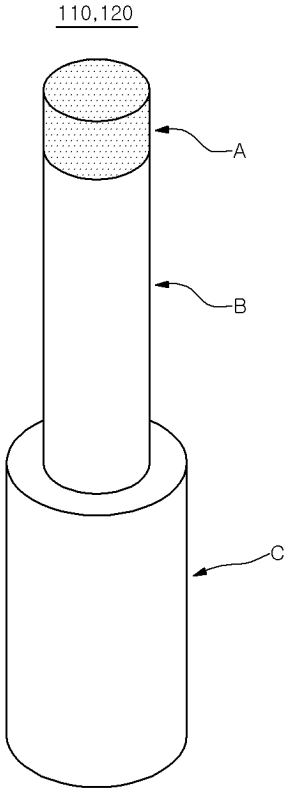
C: 광전자 증배관

도면

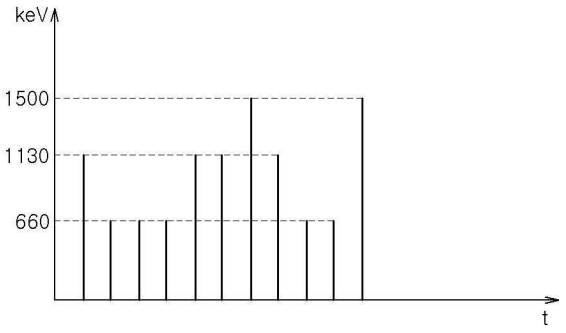
도면1



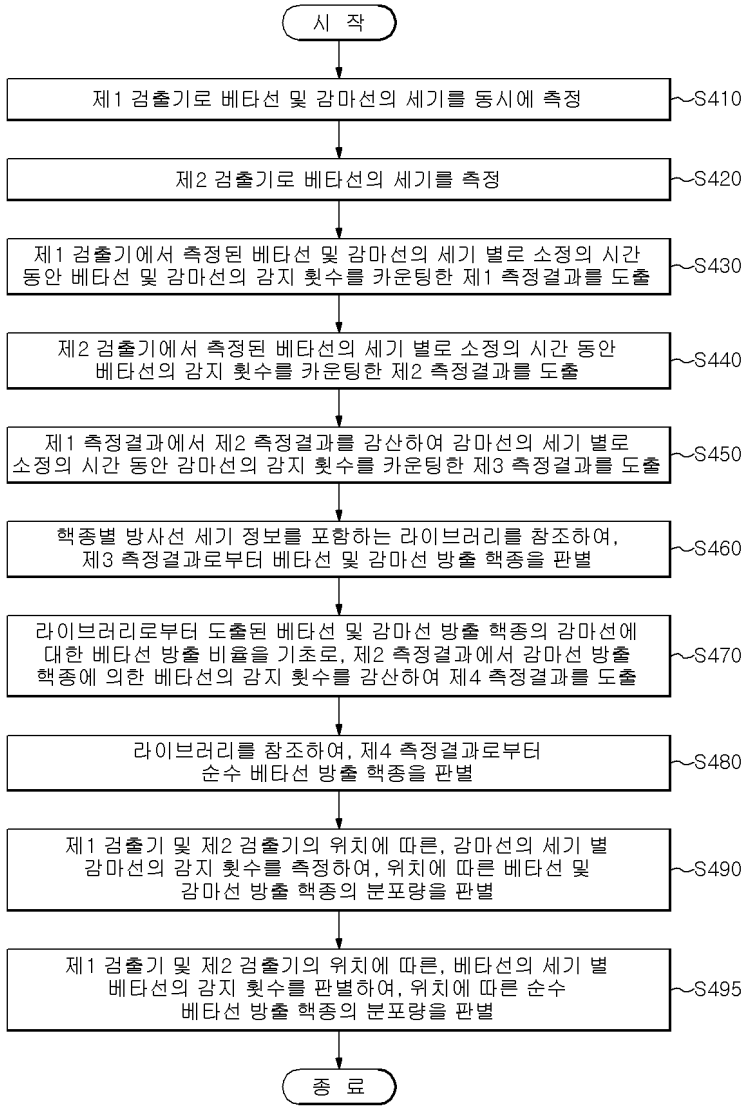
도면2



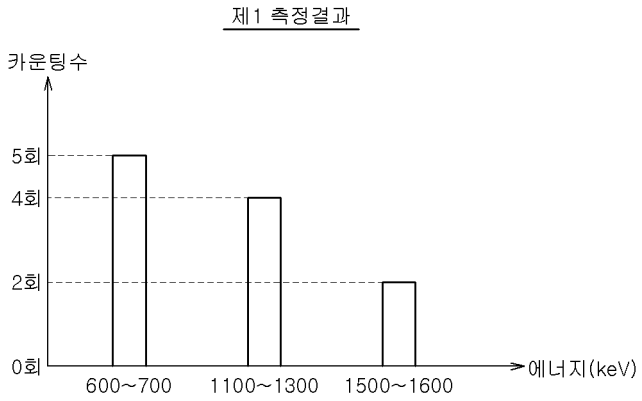
도면3



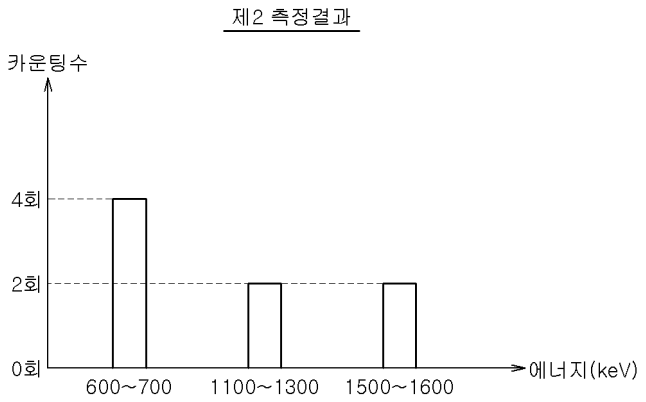
도면4


시 작
제1 검출기로 베타선 및 감마선의 세기를 동시에 측정
S410
제2 검출기로 베타선의 세기를 측정
S420
제1 검출기에서 측정된 베타선 및 감마선의 세기 별로 소정의 시간 동안 베타선 및 감마선의 감지 횟수를 카운팅한 제1 측정결과를 도출
S430
제2 검출기에서 측정된 베타선의 세기 별로 소정의 시간 동안 베타선의 감지 횟수를 카운팅한 제2 측정결과를 도출
S440
제1 측정결과에서 제2 측정결과를 감산하여 감마선의 세기 별로 소정의 시간 동안 감마선의 감지 횟수를 카운팅한 제3 측정결과를 도출
S450
핵종별 방사선 세기 정보를 포함하는 라이브러리를 참조하여, 제3 측정결과로부터 베타선 및 감마선 방출 핵종을 판별
S460
라이브러리로부터 도출된 베타선 및 감마선 방출 핵종의 감마선에 대한 베타선 방출 비율을 기초로, 제2 측정결과에서 감마선 방출 핵종에 의한 베타선의 감지 횟수를 감산하여 제4 측정결과를 도출
S470
라이브러리를 참조하여, 제4 측정결과로부터 순수 베타선 방출 핵종을 판별
S480
제1 검출기 및 제2 검출기의 위치에 따른, 감마선의 세기 별 감마선의 감지 횟수를 측정하여, 위치에 따른 베타선 및 감마선 방출 핵종의 분포량을 판별
S490
제1 검출기 및 제2 검출기의 위치에 따른, 베타선의 세기 별 베타선의 감지 횟수를 판별하여, 위치에 따른 순수 베타선 방출 핵종의 분포량을 판별
S495
종 료

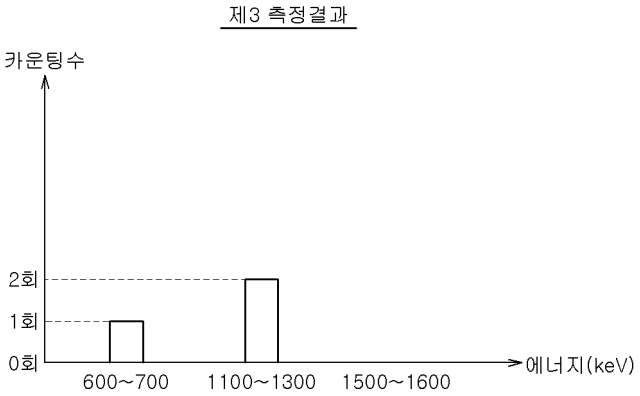
도면5


제1 측정결과
카운팅수
5회
4회
2회
0회
600~700
1100~1300
1500~1600
에너지(keV)

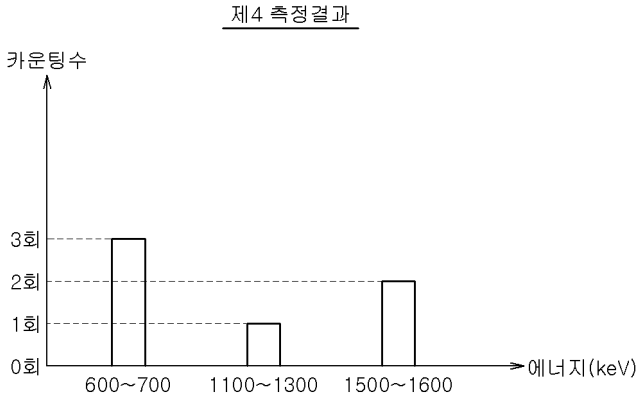
도면6


제2 측정결과
카운팅수
4회
2회
0회
600~700
1100~1300
1500~1600
에너지(keV)

도면7


제3 측정결과
카운팅수
2회
1회
0회
600~700
1100~1300
1500~1600
에너지(keV)

도면8


제4 측정결과
카운팅수
3회
2회
1회
0회
600~700
1100~1300
1500~1600
에너지(keV)