



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2013년04월01일
 (11) 등록번호 10-1249267
 (24) 등록일자 2013년03월18일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
GO1T 1/22 (2006.01) **A61N 5/00** (2006.01)
 (21) 출원번호 10-2011-0006852
 (22) 출원일자 2011년01월24일
 심사청구일자 2011년01월24일
 (65) 공개번호 10-2012-0085499
 (43) 공개일자 2012년08월01일
 (56) 선행기술조사문헌
 JP10082862 A
 JP06294871 A

(73) 특허권자
건국대학교 산학협력단
 서울특별시 광진구 능동로 120, 건국대학교내 (화양동)
 (72) 발명자
이봉수
 서울특별시 서초구 서래로10길 26, 101동 303호 (반포동, 라인아파트)
장경원
 충청북도 충주시 충원대로 268, 의료생명대학 513-2호 (단월동, 건국대학교충주캠퍼스)
 (뒷면에 계속)
 (74) 대리인
특허법인 수

전체 청구항 수 : 총 2 항

심사관 : 이현길

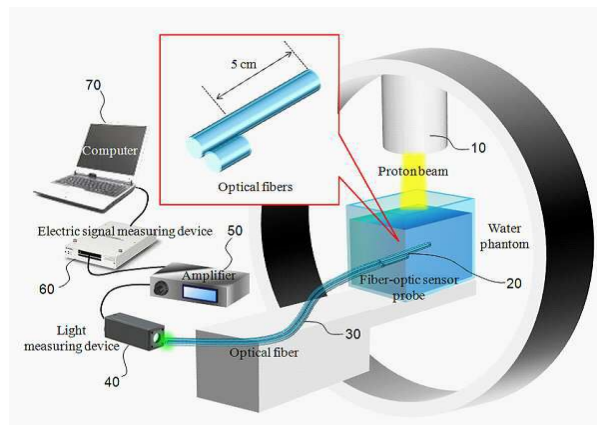
(54) 발명의 명칭 **체렌코프 방사선 측정을 통한 치료용 양성자선의 상대선량 측정 광섬유 센서 시스템 및 이를 이용한 측정 방법**

(57) 요약

본 발명은 체렌코프 방사선 측정을 통한 치료용 양성자선의 상대선량 측정 광섬유 센서 시스템 및 이를 이용한 측정 방법에 대한 것으로서, 보다 상세하게는 광섬유 센서에서 발생하는 체렌코프 방사선 측정을 통하여 보다 정확하고 경제적으로 양성자선을 측정할 수 있는 광섬유 센서 시스템 및 이를 이용한 측정 방법에 관한 것이다.

본 발명은 양성자 선원과, 양성자 선원의 브래그 피크와 SOBP 측정을 위한 광섬유 센서와, 체렌코프 방사선 계측을 위한 광 검출장치와 상기 광섬유 센서와 광 검출장치를 연결하는 한 쌍의 광섬유로 구성되며, 상기 광섬유 센서에 양성자가 조사되면 상기 광섬유 자체에서 발생된 체렌코프 방사선은 상기 광 검출장치를 통해 증폭기 시스템으로 전달되고 최종신호는 컴퓨터로 전송되는 것을 특징으로 한다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

문진수

서울특별시 은평구 은평로13길 32 (녹번동)

유옥재

경상북도 경주시 외동읍 모화3리 393번지

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2009A4190138

부처명 교육과학기술부

연구사업명 기초연구과제지원(이공분야)사업

연구과제명 (2차)의료용 양성자선 계측을 위한 2차원 유기섬광체-광섬유집합체 센서의 개발

주관기관 건국대학교 산학협력단

연구기간 2009.11.01 ~ 2010.10.31

특허청구의 범위

청구항 1

양성자 선원과;

상기 양성자 선원의 브래그 피크와 SOBP 측정을 위한 광섬유 센서와;

체렌코프 방사선 계측을 위한 광 검출장치와;

상기 광섬유 센서와 광 검출장치를 연결하는 한 쌍의 광섬유;로 구성되되, 상기 광섬유 센서에 양성자가 조사되면 상기 광섬유 자체에서 발생된 체렌코프 방사선은 상기 광 검출장치를 통해 증폭기 시스템으로 전달되고 최종 신호는 컴퓨터로 전송되고,

상기 광섬유는 유리 또는 플라스틱 광섬유로 일정 범위의 에너지를 갖는 하전입자를 조사할 때 체렌코프 방사선을 발생하며,

상기 광 검출장치는 전하결합소자 (charge-coupled device, CCD), 포토다이오드 (photodiode), 광증배관 (photomultiplier tube, PMT)이고,

상기 양성자 선원은 사이클로트론에서 발생하는 일정 범위의 에너지를 갖는 에너지의 치료용 양성자선인 것을 특징으로 하는 체렌코프 방사선 측정을 통한 치료용 양성자선의 상대선량 측정 광섬유 센서 시스템.

청구항 2

삭제

청구항 3

삭제

청구항 4

삭제

청구항 5

치료용 양성자 선원에 의해 광섬유에서 발생하는 체렌코프 방사선을 측정하는 방법에 있어서,

사이클로트론에서 발생하는 양성자 선원을 준비하는 제1단계와;

광섬유 센서에서 발생하는 체렌코프 방사선 측정을 통하여 상기 양성자 선원의 브래그 피크와 SOBP를 센싱하는 제2단계와;

광 검출장치를 통해 체렌코프 방사선 계측을 위한 광 검출과 증배하는 제3단계와;

상기 체렌코프 방사선이 상기 광 검출장치를 통해 증폭기 시스템으로 전달되어 증폭되고, 최종신호는 전기신호 측정장치를 통하여 컴퓨터로 전송되는 제4단계;

로 이루어지지며,

상기 제2단계에서 상기 광섬유는 유리 또는 플라스틱 광섬유로 일정 범위의 에너지를 갖는 에너지 하전입자를 조사할 때 체렌코프 방사선을 발생하고,

상기 제3단계에서 상기 광 검출장치는 전하결합소자 (charge-coupled device, CCD), 포토다이오드 (photodiode), 광증배관 (photomultiplier tube, PMT)이며,

상기 양성자 선원은 사이클로트론에서 발생하는 일정 범위의 에너지를 갖는 에너지의 치료용 양성자선인 것을 특징으로 하는 체렌코프 방사선 측정을 통한 치료용 양성자선의 상대선량 측정 방법.

청구항 6

삭제

청구항 7

삭제

청구항 8

삭제

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 체렌코프 방사선 측정을 통한 치료용 양성자선의 상대선량 측정 광섬유 센서 시스템 및 이를 이용한 측정 방법에 대한 것으로서, 보다 상세하게는 광섬유 센서에서 발생하는 체렌코프 방사선 측정을 통하여 보다 정확하고 경제적으로 양성자선을 측정할 수 있는 광섬유 센서 시스템 및 이를 이용한 측정 방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 치료 방사선 계측용 광섬유 센서 (fiber-optic radiation sensor, FORS)는 보통 유기섬광체 (organic scintillator)와 플라스틱 광섬유로 구성되어 있으며, 이러한 구성으로 인해 치료 방사선 계측 시, 물 혹은 조직과 등가인 (water or tissue equivalence) 직경 1 mm 이하의 유기섬광체를 사용하므로 시험체(phantom)와의 재질의 상이성으로 인한 보정작업을 줄일 수 있으며, 공간분해능이 높고, 다차원 센서로 제작이 가능하다. 또한, 광섬유를 사용하므로 전자기파로부터 간섭 없이 실시간으로 원거리 계측이 가능하다.

[0003] 그러나 섬광체를 사용하는 계측기들의 공통적인 단점인 소광효과 (quenching effect)는 광섬유 센서에도 적용된다.

[0004] 일반적으로 하전입자 (charged particle)가 섬광체를 통과할 때, 저지능 (stopping power)이 작을 경우, 섬광체에서 발생하는 섬광량은 하전입자에서 손실되는 에너지에 비례하지만, 저지능이 클 경우는 섬광량이 포화상태에 가까워지게 된다.

[0005] 즉, 저지능이 클 경우, 섬광체의 섬광량이 손실되는 하전입자의 에너지에 비례하지 않게 되는 현상을 소광효과 (quenching effect)라고 한다.

[0006] 이러한 현상은 섬광체를 이용한 고 에너지 양성자선 계측 시 뚜렷하게 부각된다.

[0007] 양성자선의 브래그 피크 (Bragg peak)에서의 저지능은 매우 크므로, 섬광체를 이용한 계측 시, 양성자선의 피크 구간에서 상대선량은 실제 값보다 낮게 측정된다.

[0008] 그러므로 섬광체를 이용한 고 에너지 양성자선 계측은 벌크 수식 (Birk' s formula) 등을 통한 보정작업을 필요로 한다.

[0009] 또한, 유리 또는 플라스틱 광섬유와 하전입자와의 직접적인 작용으로 인해 섬광체가 아닌 광섬유 자체에서 발생하는 체렌코프 방사선 (Cerenkov radiation)은 기존 발명들에서 광섬유 센서의 문제점으로 보고되고 있다.

[0010] 체렌코프 방사선은 하전입자가 매질 내의 빛의 속도보다 빠른 속도로 매질을 투과할 때, 입사선을 중심으로 일정한 각도를 갖는 원추형으로 발생하는 빛으로서 일정 에너지 (플라스틱 광섬유의 경우, 전자: 170 keV, 양성자: 400 MeV) 이상의 하전입자에 의해 발생된다.

[0011] 그러므로 광섬유 센서를 사용한 선량 측정 시, 체렌코프 방출각도와 방사선이 조사되는 광섬유의 길이에 의해서 하전입자의 진행방향 및 조사야 크기에 대해 의존성을 갖는다.

[0012] 그러나 이러한 체렌코프 방사선 역시 방사선과 매질과의 상호작용으로 발생하는 신호이므로 조사각도와 조사되는 광섬유의 길이를 고정한다면 상대선량 측정 시 유의한 신호가 될 수 있다.

[0013] 특히 광섬유에서 발생하는 체렌코프 방사선을 이용하여 고 에너지 양성자선의 상대선량을 측정할 경우, 섬광체의 사용에 따른 소광효과를 제거할 수 있으므로 특별한 보정작업 없이 상대선량을 측정할 수 있는 장점을 가진다.

[0014] 치료용 양성자선에 의해서 광섬유에서 발생하는 체렌코프 방사선은 양성자선의 에너지로 인해 직접적으로 생성되지 않고, 2, 3차적으로 생성되는 전자에 의해 발생된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0015] 상술한 문제점을 해결하기 위하여 본 발명은 양성자선이 조사되는 광섬유의 길이를 고정하기 위해서 기준 광섬유를 사용하여 감법 (subtraction method)을 적용하고, 길이가 고정된 광섬유에서 발생하는 체렌코프 방사선을 물 팬텀 (water phantom)의 깊이에 따라 측정하여 양성자선의 브래그 피크 (Bragg peak)와 SOBP (spread out Bragg peak)를 측정하는 체렌코프 방사선 측정을 통한 치료용 양성자선의 상대선량 측정 광섬유 센서 시스템을 및 이를 이용한 측정 방법을 제공하는 데 목적이 있다.

과제의 해결 수단

[0016] 본 발명은 양성자 선원과, 양성자 선원의 브래그 피크와 SOBP 측정을 위한 광섬유 센서와, 체렌코프 방사선 계측을 위한 광 검출장치와 상기 광섬유 센서와 광 검출장치를 연결하는 한 쌍의 광섬유로 구성되며, 상기 광섬유 센서에 양성자가 조사되면 상기 광섬유 자체에서 발생된 체렌코프 방사선은 상기 광 검출장치를 통해 증폭기 시스템으로 전달되고 최종신호는 컴퓨터로 전송된다.

[0017] 상기 광섬유는 유리 또는 플라스틱 광섬유로 고 에너지 하전입자를 조사할 때 체렌코프 방사선을 발생한다.

[0018] 상기 광 검출장치는 전하결합소자 (charge-coupled device, CCD), 포토다이오드 (photodiode), 광증배관 (photomultiplier tube, PMT)등을 이용한다.

[0019] 상기 양성자 선원은 사이클로트론에서 발생하는 고 에너지의 치료용 양성자선이다.

[0020] 본 발명은 치료용 양성자 선원에 의해 광섬유에서 발생하는 체렌코프 방사선을 측정하는 방법에 있어서, 사이클로트론에서 발생하는 양성자 선원을 준비하는 제1단계와, 광섬유 센서에서 발생하는 체렌코프 방사선 측정을 통하여 상기 양성자 선원의 브래그 피크와 SOBP를 센싱하는 제2단계와, 광 검출장치를 통해 체렌코프 방사선 계측을 위한 광 검출과 증배하는 제3단계와, 상기 체렌코프 방사선이 상기 광 검출장치를 통해 증폭기 시스템으로 전달되어 증폭되고, 최종신호는 전기신호 측정장치를 통하여 컴퓨터로 전송되는 제4단계로 이루어진다.

[0021] 상기 제2단계에서 상기 광섬유는 유리 또는 플라스틱 광섬유로 고 에너지 하전입자를 조사할 때 체렌코프 방사선을 발생한다.

[0022] 상기 제3단계에서 상기 광 검출장치는 전하결합소자 (charge-coupled device, CCD), 포토다이오드 (photodiode), 광증배관 (photomultiplier tube, PMT)등을 이용한다.

[0023] 상기 양성자 선원은 사이클로트론에서 발생하는 고 에너지의 치료용 양성자선이다.

발명의 효과

[0024] 본 발명에 따르면 유의미한 체렌코프 방사선을 통해 보다 정확하고 경제적으로 치료용 양성자선의 상대선량 측정이 가능한 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0025] 도1은 본 발명에 따른 물 팬텀의 깊이에 따라 광섬유에서 발생하는 체렌코프 방사선 측정을 위한 실험구성을 보여주는 도면.

도 2는 본 발명에 따른 고정된 길이의 광섬유에서 발생하는 체렌코프 방사선 측정을 위한 감법의 원리를 보여주는 도면.

도 3은 본 발명에 따른 광증배관에서 발생하는 전기신호를 증폭하기 위해서 별도로 제작한 증폭기(amplifier)시스템의 회로도.

도 4a,b는 본 발명에 따른 섬광체를 포함하는 일반적인 광섬유 센서(fiber-optic radiation sensor, FORS)를 이용한 180 MeV 양성자선의 브래그 피크 및 SOBP 측정 결과를 보여주는 도면.

도 5a,b는 본 발명에 따른 체렌코프 방사선 측정을 통하여 물 팬텀의 깊이에 따른 양성자선의 브래그 피크 및 SOBP를 측정할 결과를 보여주는 도면.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0026] 이하 본 발명의 실시를 위한 구체적인 내용을 도면을 참조하여 자세히 설명한다.
- [0027] 본 발명에서는 치료용 양성자선에 의해 광섬유 (optical fiber)에서 발생하는 체렌코프 방사선을 측정하였다.
- [0028] 조사되는 광섬유의 길이를 고정하기 위해서 기준 광섬유 (reference optical fiber)를 사용하여 감법 (subtraction method)을 적용하였으며, 길이가 고정된 광섬유(30)에서 발생하는 체렌코프 방사선을 물 시험체 (water phantom)의 깊이에 따라 측정하여 양성자선의 브래그 피크 (Bragg peak)와 SOBP (spread out Bragg peak)를 측정하였고, 이온전리함 (ionization chamber)의 측정결과와 비교하였다.
- [0029] 또한 체렌코프 방사선 측정결과와 섬광체를 포함하는 일반적인 광섬유 센서(fiber-optic radiation sensor, FORS)의 결과를 비교하기 위하여 광섬유 센서를 이용하여 양성자선의 브래그 피크와 SOBP 측정실험을 수행하였다.
- [0030] 도1에서 보는 바와 같이, 본 발명에 따른 체렌코프 방사선 측정을 통한 치료용 양성자선의 상대선량 측정 광섬유 센서 시스템은 양성자 선원(10)과, 상기 양성자 선원(10)의 브래그 피크와 SOBP 측정을 위한 광섬유 센서 (20)와, 체렌코프 방사선 계측을 위한 광 검출장치(40)와, 상기 광섬유 센서(20)와 광 검출장치(40)를 연결하는 광섬유(30)로 크게 구성된다.
- [0031] 따라서 상기 광섬유 센서에 양성자가 조사되면 상기 광섬유 센서(20)에서 발생된 체렌코프 방사선은 광 검출장치(40)를 통해 증폭기 시스템으로 전달되고 최종신호는 전기신호 측정장비 (60)에 의해 컴퓨터(70)로 전송된다.
- [0032] 상기 광섬유 센서(20)와 상기 광섬유(30)는 유리 또는 플라스틱 광섬유로 고 에너지 하전입자를 조사할 때 체렌코프 방사선을 발생한다.
- [0033] 비교실험을 위하여 광섬유 센서의 제작에 사용한 섬광체는 플라스틱으로 구성된 유기섬광체이다.
- [0034] 상기 광 검출장치(40)는 전하결합소자 (charge-coupled device, CCD), 포토다이오드 (photodiode), 광증배관 (photomultiplier tube, PMT)등을 이용한다.
- [0035] 상기 광 검출장치(40)에서 발생하는 전기신호를 증폭하기 위해서 별도로 제작한 증폭기 (amplifier) 시스템을 사용하였으며 증폭기의 회로도는 도 3과 같다.
- [0036] 상기 양성자 선원(10)으로는 사이클로트론에서 발생하는 고 에너지의 치료용 양성자선이다.
- [0037] 도 2는 고정된 길이의 광섬유(30)에서 발생하는 체렌코프 방사선 측정을 위한 감법의 원리를 보여주고 있다.
- [0038] 따라서 기준광섬유와 기준광섬유보다 5 cm 더 긴 광섬유(30)를 사용하여 양성자가 조사되었을 때 두 광섬유(30)에서 발생하는 체렌코프 방사선의 차로 5 cm 길이에서 발생하는 체렌코프 방사선을 측정할 수 있다.
- [0039] 도 1에서 보는 바와 같이, 광섬유(30)에 양성자가 조사되면 광섬유(30) 자체에서 발생된 체렌코프 방사선은 15 m 길이의 광섬유(30)를 통해 광 검출장치-증폭기 시스템(40, 50)으로 전달되고 최종신호는 전기신호 측정장비에 의해 컴퓨터로 전송된다.
- [0040] 이하 본 발명의 실시를 위한 체렌코프 방사선 측정을 통한 치료용 양성자선의 상대선량 측정 방법에 대하여 자세히 설명하고, 측정 결과에 대하여 분석한다.
- [0041] 본 발명에 따른 체렌코프 방사선 측정을 통한 치료용 양성자선의 상대선량 측정 방법은 치료용 양성자 선원에 의해 광섬유에서 발생하는 체렌코프 방사선을 측정하는 방법에 있어서, 사이클로트론에서 발생하는 양성자 선원을 준비하는 제1단계와, 광섬유 센서에서 발생하는 체렌코프 방사선 측정을 통하여 상기 양성자 선원의 브래그 피크와 SOBP 센싱하는 제2단계와, 광 검출장비를 통해 체렌코프 방사선 계측을 위한 광 검출과 증배하는 제3단계와, 상기 체렌코프 방사선이 상기 광 검출장비를 통해 증폭기 시스템으로 전달되어 증폭되고, 최종신호는 전기신호 측정장비를 통하여 컴퓨터로 전송되는 제4단계로 이루어진다.
- [0042] 상술한 체렌코프 방사선 측정을 통한 치료용 양성자선의 상대선량 측정 방법에 의한 도 4a,b는 섬광체를 포함하

는 일반적인 광섬유 센서를 이용한 180 MeV 양성자선의 브래그 피크 및 SOBP 측정 결과를 보여주고 있다.

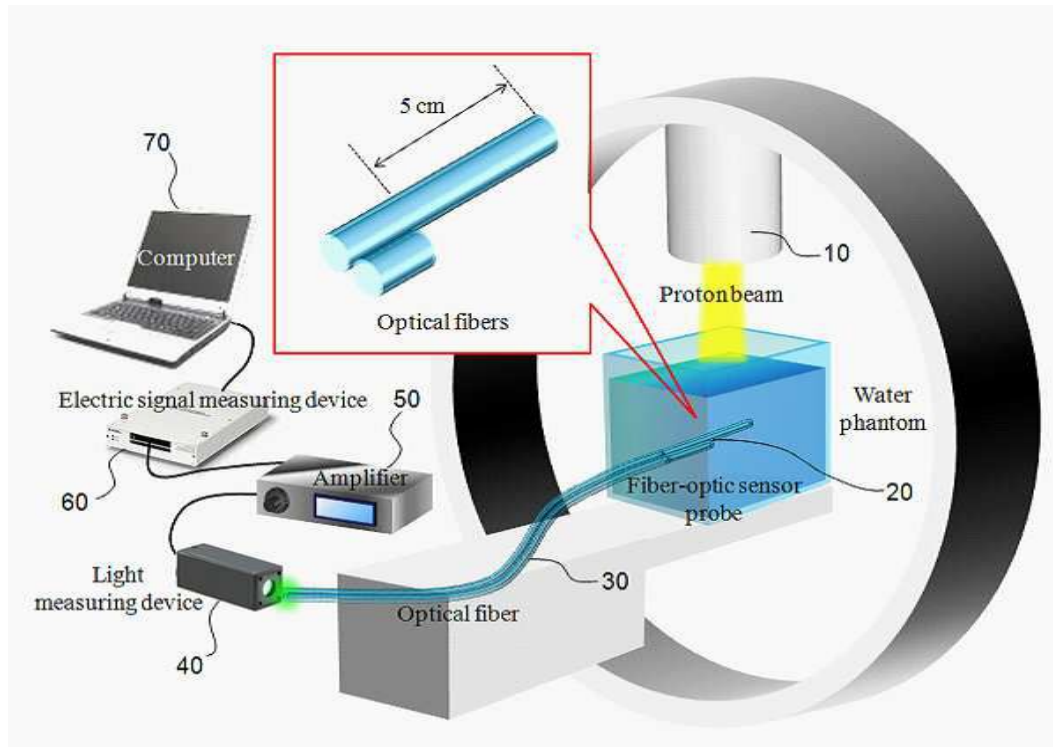
- [0043] 결과를 살펴보면 섬광체의 소광효과로 인해 피크 구간에서 상대선량이 낮게 측정되는 것을 확인할 수 있다.
- [0044] 또한 도 4a는 양성자선의 브래그 피크 측정결과로서 피크 구간에서 이온전리함의 측정결과와의 차이는 약 20%이다.
- [0045] 도 4b는 광섬유 센서를 이용하여 양성자선의 SOBP를 측정한 결과이다. 일반적으로 SOBP는 에너지가 다른 여러 양성자선의 브래그 피크를 중첩하여 한정된 구간에서 선량을 일정하게 유지한다.
- [0046] 에너지가 다른 각각의 양성자선에 대하여 섬광체의 소광효과는 상이하므로, 섬광체를 포함하는 일반적인 광섬유 센서를 이용하여 양성자선의 SOBP를 측정할 경우, 피크 구간에서 일정한 기울기를 갖게 된다. SOBP의 피크 구간에서 광섬유 센서의 결과는 이온전리함의 결과와 약 10~20% 차이를 보였다.
- [0047] 도 5a,b는 체렌코프 방사선 측정을 통하여 물 팬텀의 깊이에 따른 양성자선의 브래그 피크 및 SOBP를 측정한 결과이다.
- [0048] 먼저, 도 5a는 광섬유 센서에서 발생하는 체렌코프 방사선을 이용하여 173 MeV 양성자선의 브래그 피크를 측정 한 결과로서 최대 선량지점인 약 100 mm에서 최대값을 가지는 것을 확인할 수 있다.
- [0049] 또한 체렌코프 방사선을 이용하여 측정한 상대선량은 이온전리함의 측정결과와 거의 일치하는 추세를 보였으며 최대 선량지점에서의 차이는 약 1.9%이다.
- [0050] 도 5b는 체렌코프 방사선을 이용하여 양성자선의 SOBP를 측정한 것으로 약 75 ~ 95 mm까지 일정한 선량구간을 갖는 것을 확인할 수 있다.
- [0051] 상기 광섬유 센서에서 발생하는 체렌코프 방사선을 이용한 양성자선의 SOBP측정결과, 역시 이온전리함의 결과와 거의 일치하는 것을 확인할 수 있으며 최대 선량구간에서는 약 0.7%의 차이를 보였다.

부호의 설명

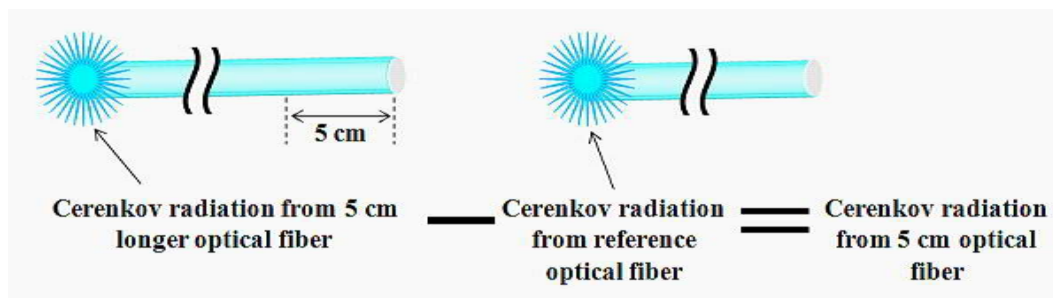
- [0052] 10 : 양성자 선원
- 20 : 광섬유 센서
- 30 : 광섬유
- 40 : 광 계측장치

도면

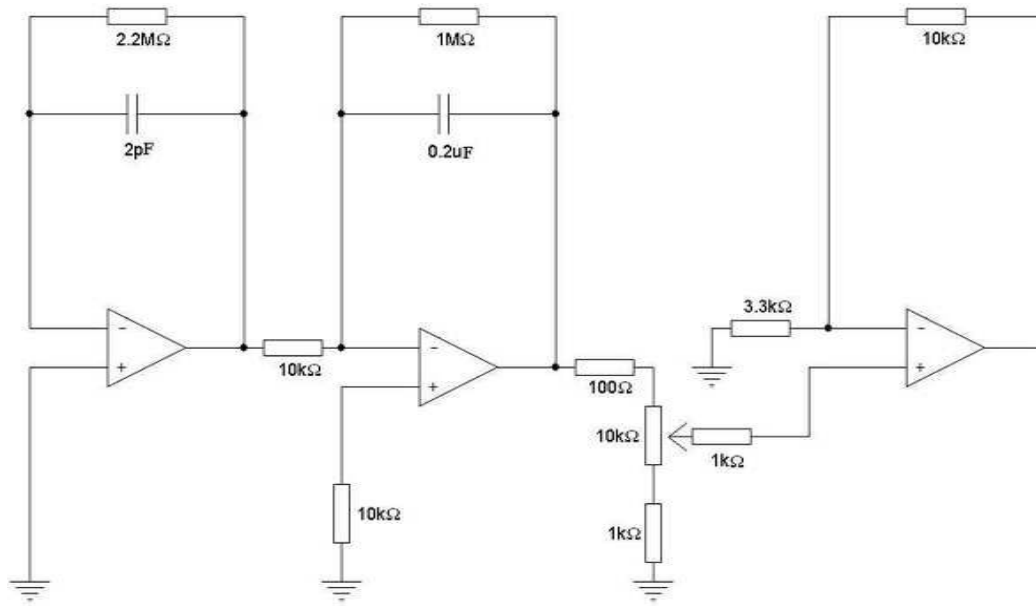
도면1



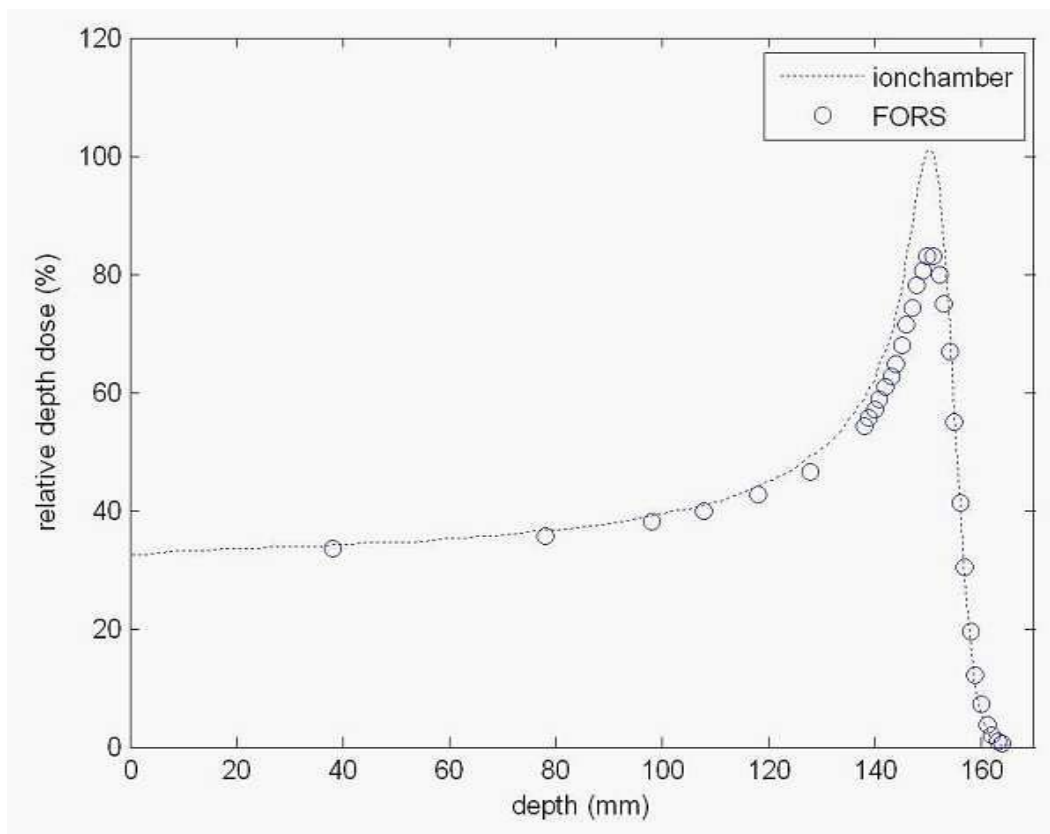
도면2



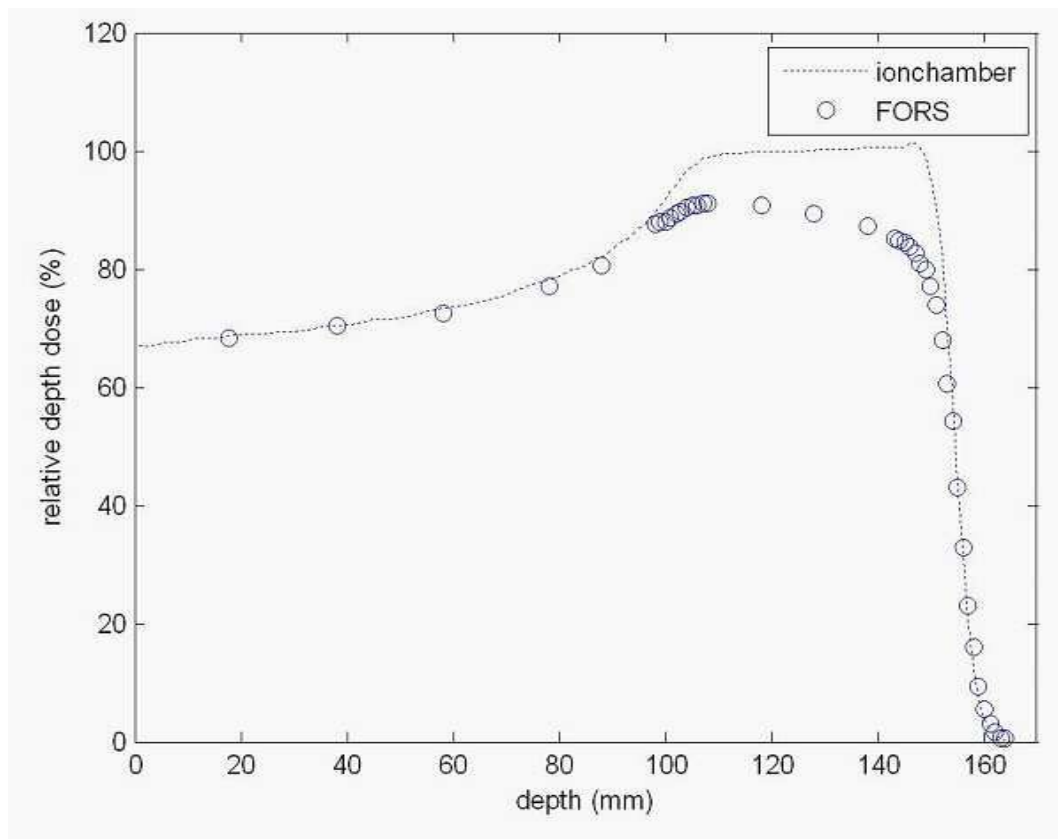
도면3



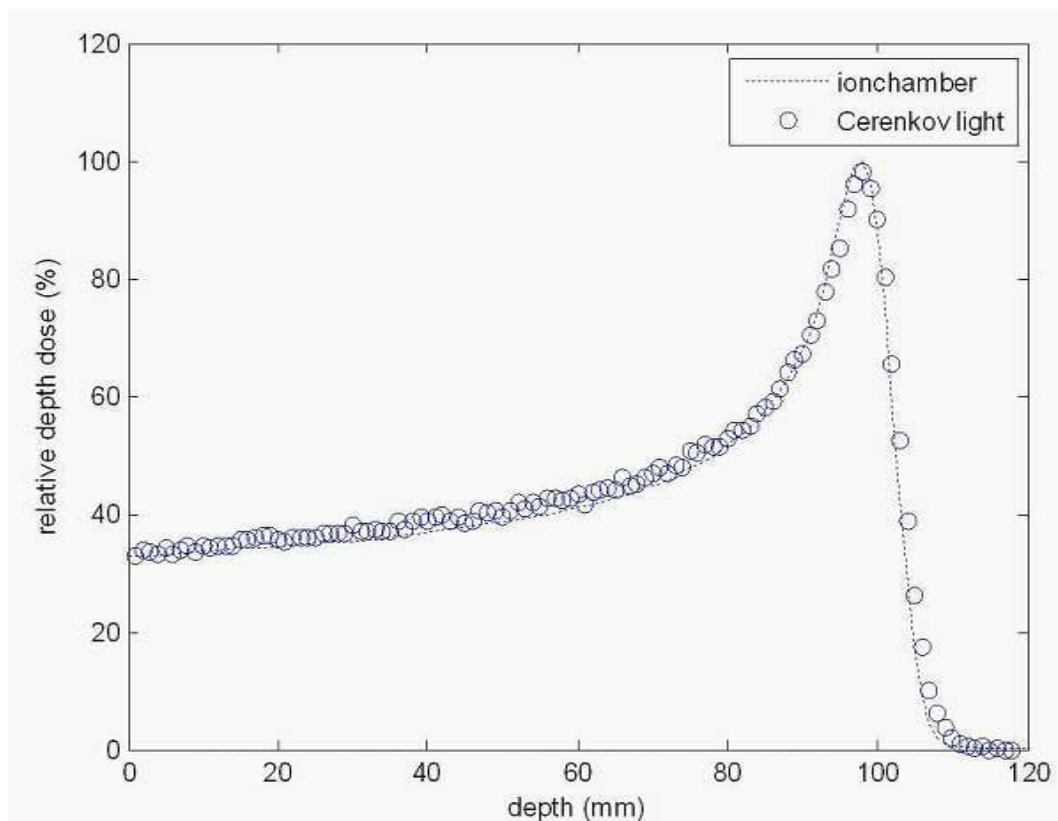
도면4a



도면4b



도면5a



도면5b

