(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0033582
(43) 공개일자 2024년03월12일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01T 1/203 (2006.01) *C08G 61/02* (2006.01)
C08G 61/12 (2006.01) *C08L 65/00* (2006.01)
G01T 1/24 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01T 1/203 (2013.01)
C08G 61/02 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2022-0112400
(22) 출원일자 2022년09월05일
심사청구일자 2022년09월05일

(71) 출원인
충남대학교산학협력단
대전광역시 유성구 대학로 99 (궁동, 충남대학교)
(72) 발명자
이택승
대전광역시 유성구 배울2로 78, 611동 2001호(관평동, 대덕테크노밸리6단지아파트)
조선영
대전광역시 대덕구 대청로64번길 63, 301동 202호(신탄진동, 한신새여울아파트)
(74) 대리인
특허법인 천지

전체 청구항 수 : 총 11 항

(54) 발명의 명칭 **핵 방사능 검출을 위한 반도체 고분자 기반의 유기 섬광 고분자 및 이를 이용한 플라스틱 신틸레이터**

(57) 요 약

본 발명은 반도체 고분자 기반 플라스틱 신틸레이터에 관한 것으로서, 방사선을 감지할 수 있는 감광제를 반도체 고분자에 공유결합시켜 방사선 노출 하에서 효율적인 에너지 전달을 유도하고, 가시광 광자를 방출하여 광전자 증배관이 감지할 수 있도록 하는 방사선 검출에 관한 것이다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
C08G 61/126 (2013.01)
C08L 65/00 (2013.01)
G01T 1/24 (2021.01)
C08G 2261/149 (2013.01)
C08G 2261/31 (2013.01)
C08G 2261/3223 (2013.01)
C08G 2261/324 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1415170034
과제번호 20201520300140
부처명 산업통상자원부
과제관리(전문)기관명 한국에너지기술평가원
연구사업명 원자력핵심기술개발(R&D)
연구과제명 중수로 해체폐기물내 C-14 활용 첨단 기능성재료 제조 기술개발
기 여 율 1/1
과제수행기관명 (주)큐라켐
연구기간 2022.01.01 ~ 2022.12.31

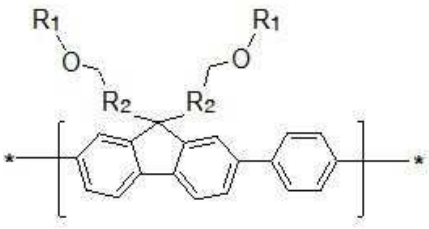
명 세 서

청구범위

청구항 1

하기 화학식 1로 표시되는 제1 반복단위를 포함하는 유기 섬광 고분자:

[화학식 1]



상기 화학식 1에서

R_1 은 방사선 감광제이고,

R_2 는 탄소수 3 내지 10의 알킬기이고,

* 는 연결부를 표시한다.

청구항 2

제1항에 있어서,

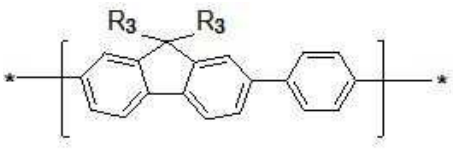
상기 R_1 은 2,5-디페닐옥사졸 (PPO) 또는 1,4-비스(5-페닐옥사졸-2-일)벤젠 (POPOP)인, 유기 섬광 고분자.

청구항 3

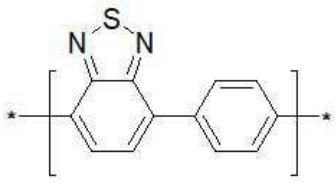
제1항에 있어서,

하기 화학식 2a 내지 2d로 이루어진 군에서 선택되는 적어도 하나의 제2 반복단위를 더 포함하는, 유기 섬광 고분자:

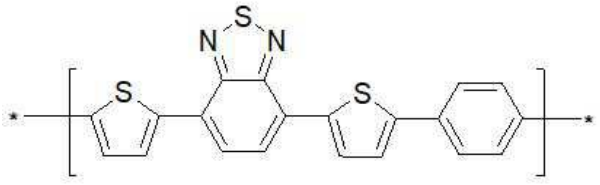
[화학식 2a]



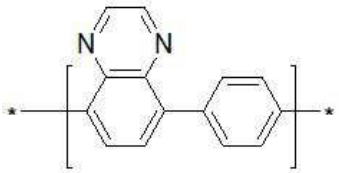
[화학식 2b]



[화학식 2c]



[화학식 2d]



상기 화학식 2a에서 R_3 은 탄소수 3 내지 10의 알킬기이고

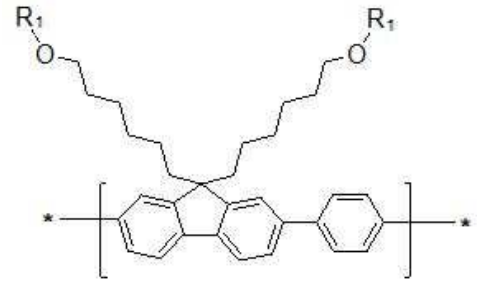
상기 화학식 2a 내지 2d에서 * 은 연결부를 표시한다.

청구항 4

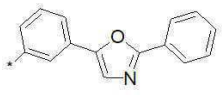
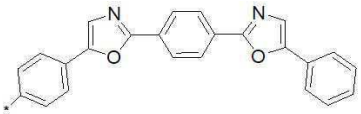
제1항에 있어서,

상기 제1 반복단위는 하기 화학식 3으로 표시되는, 유기 섬광 고분자:

[화학식 3]



상기 화학식 3에서,

R_1 은  (2,5-디페닐옥사졸, PPO) 또는  (1,4-비스(5-페닐옥사졸-2-일)벤젠, POPOP)이고,

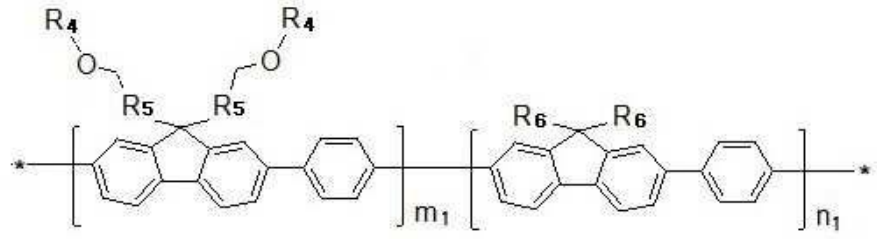
* 는 연결부를 표시한다.

청구항 5

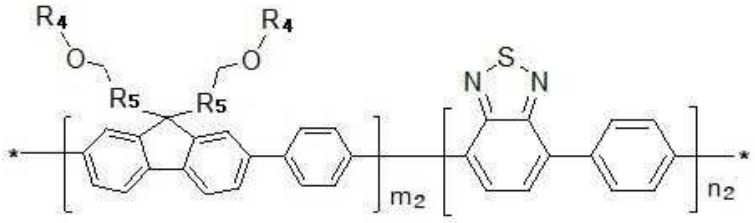
제3항에 있어서,

하기 화학식 4 내지 7 으로 이루어진 군에서 선택되는 적어도 하나의 반복 단위를 포함하는, 유기 섬광 고분자:

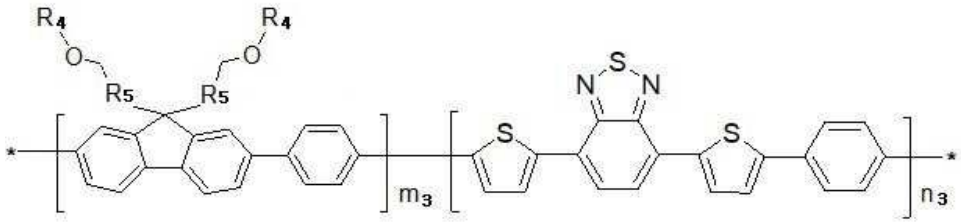
[화학식 4]



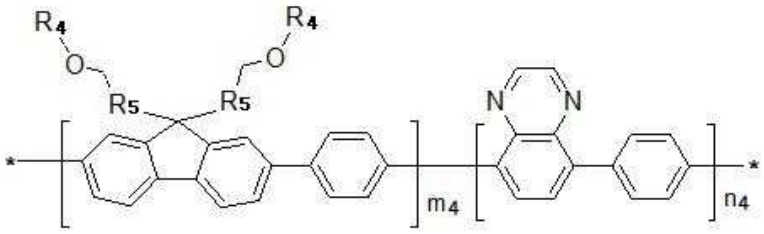
[화학식 5]



[화학식 6]



[화학식 7]



상기 화학식 4 내지 7에서

R_4 은 2,5-디페닐옥사졸 (PPO) 또는 1,4-비스(5-페닐옥사졸-2-일)벤젠 (POPOP) 이고,

R_5 및 R_6 는 각각 독립적으로 탄소수 3 내지 10의 알킬기이고,

m_1 내지 m_4 및 n_1 내지 n_4 는 각각 독립적으로 1 내지 15의 유리수고,

m_1+n_1, m_2+n_2, m_3+n_3, m_4+n_4, 및 m_5+n_5 는 각각 독립적으로 5 내지 30의 유리수이다.

청구항 6

제1항 내지 제5항 중 어느 한 항에 기재된 고분자를 함유하는 신틸레이터용 조성물.

청구항 7

제6항에 있어서,

매트릭스 고분자용 중합 단량체를 추가로 함유하는 신틸레이터용 조성물.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 매트릭스 고분자용 중합 단량체는 폴리스타이렌, 폴리비닐톨루엔, 폴리(메틸 메타크릴레이트), 폴리아크릴레이트, 및 폴리실록세인으로 이루어진 군에서 선택되는 적어도 하나의 매트릭스 고분자용 중합 단량체인, 신틸레이터용 조성물.

청구항 9

제6항에 있어서,

아조계 또는 디아조계의 중합 개시제를 추가로 함유하는 신틸레이터용 조성물.

청구항 10

제1항 내지 제5항 중 어느 한 항에 기재된 고분자를 포함하는 플라스틱 신틸레이터.

청구항 11

제10항에 있어서,

Sr-89, Sr-90, 또는 C-14 방사선원을 검출하는데 사용되는 플라스틱 신틸레이터.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 반도체 고분자 기반 플라스틱 신틸레이터에 관한 것으로서, 방사선을 감지할 수 있는 감광제를 반도체 고분자에 공유 결합시켜 방사선 노출 하에서 효율적인 에너지 전달을 유도하고, 가시광 광자를 방출하여 광전자 증배관이 감지할 수 있도록 하는 방사선 검출에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 최근 녹색에너지는 탄소배출의 증가, 온실효과, 해양 산성화 등으로 인해 대체할 수 있는 에너지 수단으로 큰 주목을 받고 있다. 이러한 환경문제는 에너지에 대한 화석 연료의 높은 의존도로 인해 증가하고 있으며, 수력, 풍력 및 태양열 발전은 여전히 특정 지리적 요건을 충족해야 하며, 기후의 영향을 받는다. 따라서 원자력 에너지 발전은 에너지의 필수 동력원으로 부상하고 있으며, 급속도로 발전하는 현대사회에서 화석연료의 고갈로 인한 대체 에너지원으로 필요성이 증가하고 있다. 하지만 원자력 발전은 큰 단점으로서 방사능 누출 위험이 크기 때문에 효과적인 방사성 모니터링 기술은 원자력 발전 못지 않게 중요하게 여겨지고 있다.

[0003] 핵 반응은 고에너지의 α-, β-, ɣ-선 및 중성자선을 방출하며, 이러한 광선을 모니터링하는 신틸레이터는 단일 고에너지 광자를 다중 광전자 증배관 (photomultiplier, PMT)이 감지할 수 있는 저에너지 광자로 변환할 수 있다. 신틸레이터는 저렴하고 제조가 쉽기 때문에 X선 및 감마선 검출에 널리 사용되고 있으며, 이상적인 신틸레이터의 요구조건은 다음과 같다. (1) 광전자 생성을 증가시키기 위한 고에너지 붕괴 및 높은 원자 번호를 포함하고, (2) 높은 광수율 특성을 나타내야 하며, (3) 짧은 형광 광자 수명 및 (4) 비용이 저렴하여 대량생산에 용이해야 한다. 하지만 원자번호가 높은 원소들은 주로 무기 산화물로 구성되어 신틸레이터의 가공성과 수분, 산화와 같은 안정성이 떨어진다.

[0004] 현재 알려진 방사선 검출 신틸레이터는 (1) 단결정, (2) 액체 및 (3) 플라스틱 신틸레이터 등이 있으며, 단결정 신틸레이터에는 고순도 게르마늄과 NaI가 있지만 결정 성장이 어려운 단점때문에 대량으로 만드는 것은 비용이 많이 들고 부서지기 쉽다. 액체 신틸레이터는 가연성 오일 상태로 산소에 매우 민감하여 취급, 운송 및 보관이 어렵다. 플라스틱 신틸레이터는 위에서 언급한 단점으로 인해 검출 효율이 상대적으로 낮음에도 불구하고 재료의 선택범위가 넓어 지속적으로 개발되고 있다.

[0005] 상업적으로 이용가능한 플라스틱 신틸레이터는 폴리스티렌, 폴리비닐톨루엔, 또는 폴리(메틸 메타크릴레이트), 폴리실록세인 등의 매트릭스에 방사선 감광제로 2,5-diphenyloxazole (PPO) 또는 1,4-bis(5-phenyloxazol-2-yl) benzene (POPOP)을 혼합하여 제조한다. 또한, 최적의 신틸레이션 성능을 위해 파장 이동제 (wavelength shifter)를 첨가하여 가시광 영역대로 방출 파장을 조절할 수 있다. 그러나 과잉 도핑된 형광 도펀트는 매트릭

스 내에서 가소제 역할을 하여 플라스틱 신틸레이터의 열적 및 기계적 특성을 악화시킬 수 있다. 이러한 제한점을 극복하기 위해 방사선 감광제 유도체 가교제나 모노머를 매트릭스로 하는 폴리머와 공중합시킨 예가 보고됐지만, 가시광 영역의 파장으로 에너지 전달을 유도하기 위해 파장 이동제 사이의 적절한 함량 비율을 결정하기 위해서는 수많은 포뮬레이션이 필요하기 때문에 대량 생산에 한계점으로 작용한다. 따라서 높은 광 수율과 짧은 형광 광자 수명을 갖는 새로운 도펀트를 개발해야 할 필요가 있다. 최근 플라스틱 신틸레이터의 도펀트로서 양자점이나 페로브스카이트를 적용한 사례가 있으나, 양자점은 매트릭스 내에 분산성이 좋지 않아 응집이 되는 문제가 있으며, 페로브스카이트는 수분, 빛, 열에 대한 안정성이 떨어져 실용성에 한계가 있다. 가장 중요한 것은 이 도펀트들은 중금속과 할로겐 원소를 포함하고 있어 방사선 모니터링 후 신틸레이터를 폐기하는 과정에서 2차 환경오염의 우려가 있다.

선행기술문헌

[0006] [선행기술문헌 1] 한국특허출원번호 10-2019-0117368 신틸레이터 조성물 및 이를 이용하는 신틸레이터

[0007] [선행기술문헌 2] 한국특허출원번호 10-2015-0109351 제올라이트 신틸레이터 및 이의 제조방법

[0008] [선행기술문헌 3] J. Nie, C. Li, S. Zhou, J. Huang, X. Ouyang, Q. Xu, High Photoluminescence Quantum Yield Perovskite/Polymer Nanocomposites for High Contrast X-ray Imaging, ACS Appl. Mater. Interfaces 2021, 13, 45, 54348-54353

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 본 발명은 기존 플라스틱 신틸레이터의 문제점인 분산 안정성 및 응집현상을 해결하고자 하며, 2개 이상의 도펀트가 필요하지 않고 방사선 감광제가 공유결합으로 연결된 반도체 고분자를 신틸레이터로 제작함으로써 방사선 감광제 및 파장 이동제 사이의 에너지 전달을 용이하게 하여 방사선 감지 효율을 향상시키는 것이다. 또한 방사선 모니터링 후 신틸레이터를 폐기하는 과정에서 2차 환경오염의 우려를 해결하기 위해 모든 성분이 유기물로 구성된 플라스틱 신틸레이터를 제공하는 것이다.

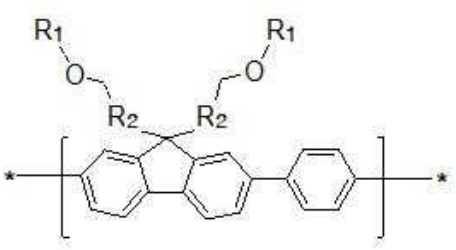
과제의 해결 수단

[0010] 반도체 고분자는 다양한 단량체를 선택하여 넓은 흡수 파장을 갖도록 조절할 수 있기 때문에 빛을 수확할 수 있는 능력이 뛰어나다. 일반 형광 염료와 달리 반도체 고분자의 분자내 또는 분자간의 고유한 에너지 전달 특성을 갖고 있을 뿐만 아니라 상기 언급했던 무기계 플라스틱 신틸레이터와는 달리 모든 성분이 유기성분으로 구성되어 있다. 따라서 2차 폐기물로 인한 환경오염의 우려가 없으며, 같은 고분자로서 매트릭스 고분자 들과 상용성이 좋기 때문에 응집문제 또한 해결할 수 있다.

[0011] 따라서 본 발명은 플라스틱 신틸레이터의 도펀트 응집문제를 해결하고 방사선 감광제와 파장 이동제 사이의 에너지 전달을 개선하는 친환경 유기 기반 신틸레이터를 개발하였으며 2개 이상의 도펀트가 필요없고 하나의 반도체 고분자만으로 방사선을 검출할 수 있다.

[0012] 본 발명의 일 양태에 따르면, 하기 화학식 1로 표시되는 제1 반복단위를 포함하는 유기 섬광 고분자가 제공된다:

[0013] [화학식 1]



[0014]

[0015] 상기 화학식 1에서

[0016] R_1 은 방사선 감광제이고, R_2 는 탄소수 3 내지 10의 알킬기이고, * 는 연결부를 표시한다.

[0017] 본 발명의 다른 일 양태에 따르면, 상기 유기 섬광 고분자를 함유하는 신틸레이터용 조성물이 제공된다.

[0018] 본 발명의 또다른 일 양태에 따르면, 상기 유기 섬광 고분자를 포함하는 플라스틱 신틸레이터가 제공된다.

발명의 효과

[0019] 본 발명의 반도체 고분자 기반 플라스틱 신틸레이터는 분산 안정성이 우수하고 도펀트가 응집하지 않기 때문에 투과도가 높아 광학특성이 우수하고, 방사선 감광제가 공유결합으로 연결된 반도체 고분자를 신틸레이터로 제작함으로써 방사선 감광제 및 파장 이동제 사이의 에너지 전달을 용이하게 하여 방사선 감지 효율을 향상시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0020] 도 1은 본 발명의 반도체 고분자 기반 플라스틱 신틸레이터의 제조방법에 대한 흐름도이며,

도 2는 본 발명의 반도체 고분자 기반 플라스틱 신틸레이터 제조방법의 모식도이며,

도 3는 본 발명의 신틸레이터로 방사선을 검출하는 제조 장치 구성도이며,

도 4은 본 발명의 플라스틱 신틸레이터의 함량에 따른 Sr-90 방사선 노출 하에서 측정한 에너지 스펙트럼이며,

도 5은 본 발명의 플라스틱 신틸레이터의 종류에 따른 Sr-90 방사선 노출 하에서 측정한 에너지 스펙트럼이며,

도 6은 본 발명의 플라스틱 신틸레이터의 함량에 따른 C-14 방사선 노출 하에서 측정한 에너지 스펙트럼이며,

도 7은 본 발명의 플라스틱 신틸레이터의 종류에 따른 C-14 방사선 노출 하에서 측정한 에너지 스펙트럼이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

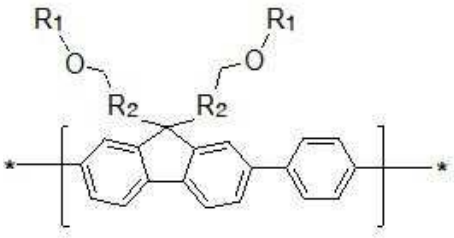
[0021] 이하, 본 발명에 대해 상세히 설명한다.

[0022] 본 명세서에서 사용한 용어는 단지 특정한 구현예를 설명하기 위해 사용된 것으로서 본 발명을 한정하려는 의도가 아니며, 다르게 정의되지 않는 한, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가지고 있다.

[0023] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다, "함유"한다, “가지다” 라고 할 때, 이는 특별히 달리 정의되지 않는 한, 다른 구성 요소를 더 포함할 수 있다는 것을 의미한다.

[0025] 본 발명의 일 양태에 따르면 하기 화학식 1로 표시되는 제1 반복단위를 포함하는 유기 섬광 고분자가 제공된다:

[0026] [화학식 1]

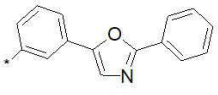
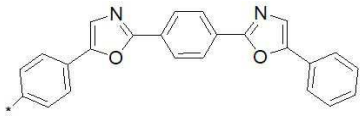


[0027]

[0028] 상기 화학식 1에서 R_1 은 방사선 감광제이고, R_2 는 탄소수 3 내지 10의 알킬기이고, * 는 연결부를 표시한다.

[0029] 상기 R_1 은 신틸레이터용으로 사용되던 임의 방사선 감광제일 수 있으며 특별히 제한되지는 않는다. 예를 들어, 상기 R_1 은 2,5-디페닐옥사졸 (diphenyloxazole)(PPO), 파라 테르페닐(PT), 4-비스(2-메틸스티릴)벤젠(4-bis(2-Methylstyryl)benzene)(bis-MSB), P-터페닐(P-terphenyl), 1,4-비스[5-페닐옥사졸-2-일]벤젠(POPOP), 안트라센(anthracene), 스틸벤(stilbene), 톨란(tolan), 2-(4-바이페닐일)-5-페닐-옥사졸(BPO), 2-페닐-5-(4-바이페닐일)-1,3,4-옥사이디아졸(PBD), 2-(1-나프틸)-5-페닐옥사졸(α-NPO), 1,4-디-(4-메틸-5-페닐-2-옥사졸일)-벤젠

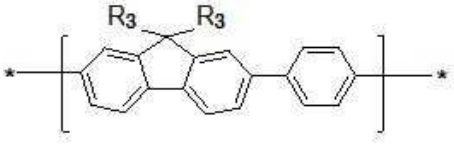
(디메틸-POPOP), 1,4-비스-(2-메틸스틸릴(methylstyryl))벤젠(bis-MSB)로 이루어진 군으로부터 선택된 어느 하나일 수 있다.

[0030] 본 발명의 일 구체예에 따르면, 상기 R_1 은 2,5-디페닐옥사졸 (PPO) 또는 1,4-비스[5-페닐옥사졸-2-일]벤젠 (POPOP)일 수 있다. 구체적으로는, 상기 상기 R_1 은 화학식  로 표시되는 2,5-디페닐옥사졸 (PPO) 또는 화학식  로 표시되는 1,4-비스(5-페닐옥사졸-2-일)벤젠 (POPOP) 일 수 있다.

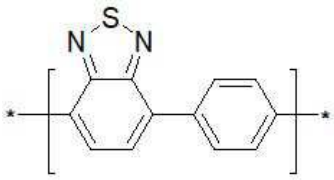
[0031] 본 명세서에서 탄소수 3 내지 10의 알킬기는 탄소원자의 수가 3 내지 10개인 직쇄 또는 분지쇄의 알킬기를 의미한다. 상기 탄소수 3 내지 10의 알킬기는 바람직하게는 탄소수 5 내지 9의 알킬기일 수 있으며, 바람직하게는 상기 알킬기는 직쇄 알킬기이다. 상기 알킬기의 예로는 n-프로필, 이소프로필, n-부틸, 이소부틸, sec-부틸, tert-부틸, n-펜틸, sec-펜틸, n-헥실 등을 들 수 있다.

[0032] 본 발명의 일 구체예에 따르면, 상기 유기 섬광 고분자는 상기 화학식 1로 표시되는 제1 반복 단위에 추가하여, 하기 화학식 2a 내지 2d로 이루어진 군에서 선택되는 적어도 하나의 제2 반복단위를 더 포함할 수 있다:

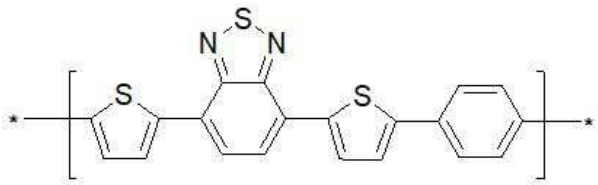
[0033] [화학식 2a]

[0034] 

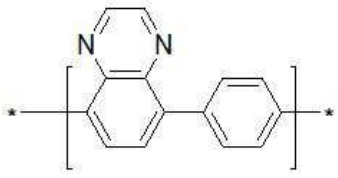
[0035] [화학식 2b]

[0036] 

[0037] [화학식 2c]

[0038] 

[0039] [화학식 2d]

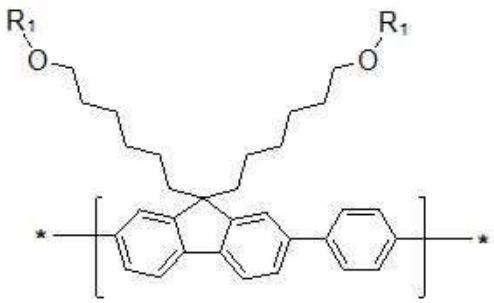
[0040] 

[0041] 상기 화학식 2a에서 R_3 은 탄소수 3 내지 10의 알킬기이고, 바람직하게는 탄소수 5 내지 9의 알킬기일 수 있으며, 바람직하게는 상기 알킬기는 직쇄 알킬기이다. 상기 화학식 2a 내지 2d에서 * 은 연결부를 표시한다.

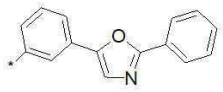
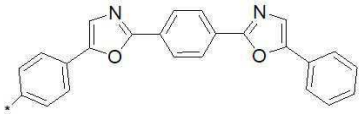
[0042] 본 발명의 일 구현예에 따르면 상기 제1 반복단위의 양과 상기 제2 반복단위의 양은 목적에 따라 적절히 조절될 수 있다. 예를 들어 상기 제1 반복 단위의 양은 목적하는 방사선 감광제의 양에 따라 조절할 수 있으며, 상기 제2 반복 단위의 양은 광전자증배관이 감지 가능한 가시광 광자를 방출하도록 목적하는 형광 파장을 조절할 수 있다. 상기 제1 반복 단위의 개수와 상기 제2 반복 단위의 개수는 2:8 내지 8:2의 비율일 수 있다.

[0044] 본 발명의 일 구체예에 따르면, 상기 제1 반복단위는 하기 화학식 3으로 표시되는 것일 수 있다:

[0045] [화학식 3]

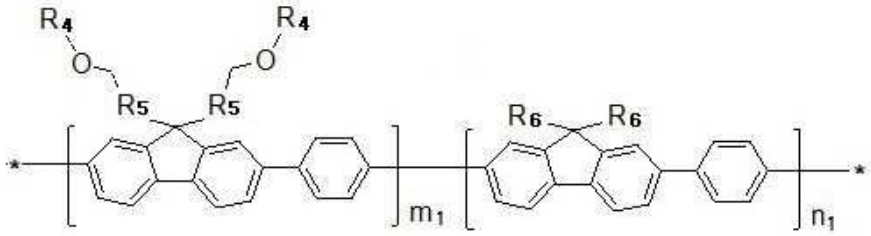


[0046]

[0047] 상기 화학식 3에서, R_1 은 신틸레이터용으로 사용되던 임의 방사선 감광제일 수 있으며, 본 발명의 일 구체예에 따르면, 상기 R_1은 2,5-디페닐옥사졸 (PPO) 또는 1,4-비스[5-페닐옥사졸-2-일]벤젠(POPOP)일 수 있고, 구체적으로는  (2,5-디페닐옥사졸, PPO) 또는  (1,4-비스(5-페닐옥사졸-2-일)벤젠, POPOP)일 수 있다. 상기 화학식 3에서 * 는 연결부를 표시한다.

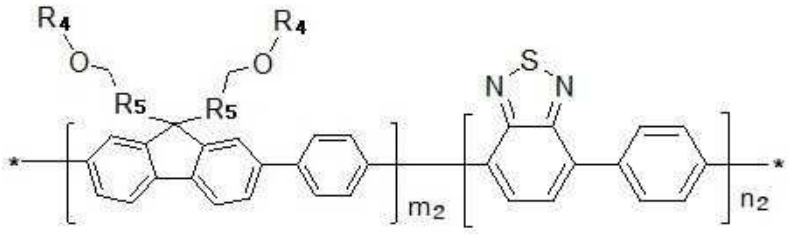
[0049] 본 발명의 일 구현예에 따르면, 상기 유기 섬광 고분자는 하기 화학식 4 내지 7 으로 이루어진 군에서 선택되는 적어도 하나의 반복 단위를 포함하는 것일 수 있다.

[0050] [화학식 4]



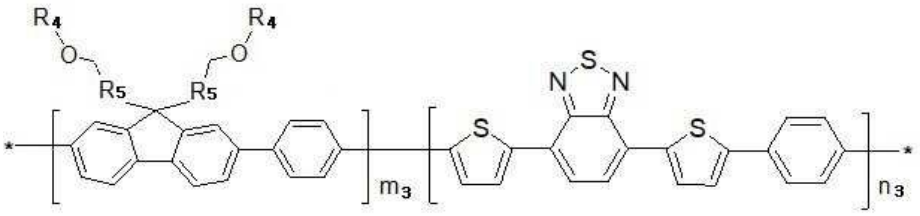
[0051]

[0052] [화학식 5]



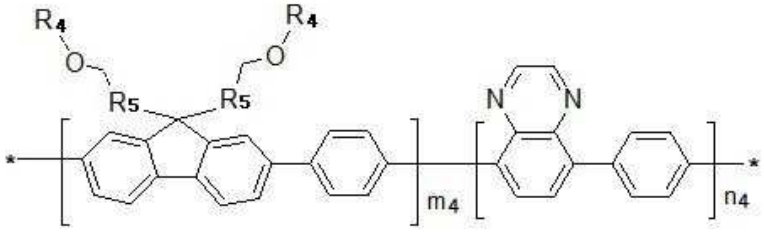
[0053]

[0054] [화학식 6]



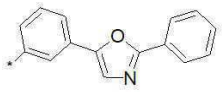
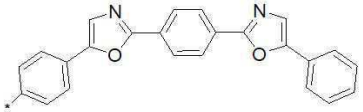
[0055]

[0056] [화학식 7]



[0057]

[0058] 상기 화학식 4 내지 7에서

[0059] R_4 은 신틸레이터용으로 사용되던 임의 방사선 감광제일 수 있으며, 본 발명의 일 구체예에 따르면, 상기 R_1은 2,5-디페닐옥사졸 (PPO) 또는 1,4-비스[5-페닐옥사졸-2-일]벤젠(POPOP)일 수 있고, 구체적으로는  (2,5-디페닐옥사졸, PPO) 또는  (1,4-비스(5-페닐옥사졸-2-일)벤젠, POPOP)일 수 있다.

[0060] 상기 화학식 4 내지 7에서, R_5 및 R_6 는 각각 독립적으로 탄소수 3 내지 10의 알킬기이고, 바람직하게는 탄소수 5 내지 9의 알킬기일 수 있으며, 바람직하게는 상기 알킬기는 직쇄 알킬기이다.

[0061] 상기 화학식 4 내지 7에서 m_1 내지 m_4 및 n_1 내지 n_4 는 각각 독립적으로 1 내지 15의 유리수이고, 예를 들어 1 내지 12, 2 내지 8, 또는 3 내지 7의 유리수일 수 있다. 또한, 상기 화학식 4 내지 7 에서 m_1+n_1, m_2+n_2, m_3+n_3, m_4+n_4, 및 m_5+n_5 는 각각 독립적으로 5 내지 30의 유리수이고, 예를 들어 5 내지 20, 6 내지 15, 또는 7 내지 12의 유리수일 수 있다.

[0063] 본 발명의 일 양태에 따르면, 전술한 유기 섬광 고분자를 함유하는 신틸레이터용 조성물이 제공된다.

[0064] 상기 신틸레이터용 조성물은 폴리스타이렌, 폴리비닐톨루엔, 폴리(메틸 메타크릴레이트), 폴리아크릴레이트, 폴리실록세인 등의 매트릭스 고분자와 혼합하여 신틸레이터를 제조하는데 사용될 수 있다. 대안적으로, 상기 신틸레이터용 조성물은 매트릭스 고분자용 중합 단량체를 추가로 함유할 수 있다. 상기 매트릭스 고분자용 중합 단량체는 폴리스타이렌, 폴리비닐톨루엔, 폴리(메틸 메타크릴레이트), 폴리아크릴레이트, 및 폴리실록세인으로 이루어진 군에서 선택되는 적어도 하나의 매트릭스 고분자용 중합 단량체일 수 있다.

[0065] 또한, 상기 신틸레이터용 조성물은 중합 개시제를 추가로 함유할 수 있다. 상기 중합 개시제의 종류는 제한되지 않으며, 예를 들어 반응성이 우수한 아조계 화합물(azo compounds), 디아조계 화합물(diazo compounds) 등이 중합 개시제로서 사용될 수 있고, 바람직하게는 아조비스이소부티로니트릴(azobis(isobutyronitrile), AIBN)일 수 있다.

[0067] 본 발명에 따른 유기 섬광 고분자는 폴리스티렌, 폴리비닐톨루엔, 또는 폴리(메틸 메타크릴레이트), 폴리실록세인 등의 매트릭스 고분자에 포함시켜 플라스틱 신틸레이터로 제조하고 광전자 증배관의 직경에 맞게 연마하여

사용하고, 방사선 노출하에서 광자를 검출한다.

[0068] 이에 본 발명의 다른 일 양태에 따르면, 전술한 유기 섬광 고분자를 포함하는 플라스틱 신틸레이터가 제공된다. 상기 신틸레이터는 방사선, 구체적으로 Sr-89, Sr-90, 또는 C-14 방사선원을 감지하는데 사용되는 것일 수 있다.

[0069] 또한, 본 발명의 유기 섬광 고분자를 포함하는 신틸레이터의 제조과정은, 반도체 고분자를 합성하는 제1단계 (S100); 방사선 감광제를 공유결합하여 화학식 1의 제1 반복단위를 포함하는 유기 섬광 고분자를 합성하는 제2 단계 (S200); 제2단계의 유기 섬광 고분자를 매트릭스용 플라스틱 고분자에 혼합시키는 단계 (S300)로 구성될 수 있으며, 제조방법에 대한 흐름도는 [도 1]로 나타냈다.

[0070] 상기 제1단계 (S100)에서 상기 반도체 고분자는 플루오렌 단위 (화학식 1의 제1 반복단위의 기본이 되는 플루오렌 단위)와 다른 단위 (화학식 2a 내지 2d의 제2 반복 단위의 기본이 되는 고분자 단위)는 스즈키 커플링 (Suzuki coupling) 반응에 의해 합성된 것이나, 이에 한정되는 것은 아니며 다양한 합성경로를 통해 제조될 수 있다. 원하는 가시광 파장을 발광하도록 하기 위해 제2 반복 단위용 고분자는 공지된 단량체를 통해 합성할 수 있으며, 화학식 2a 내지 2d로 한정되는 것은 아니다. 또한 제1 반복 단위용 반도체 고분자의 비율을 조절하여 도입하고자 하는 방사선 감광제의 양을 결정할 수 있다.

[0071] 상기 제2단계 (S200)에서 상기 반도체 고분자에 방사능 감광제를 공유결합 하여 유기 섬광 고분자를 합성할 수 있다. 구체적으로, 제1 반복단위용 반도체 고분자의 할로겐(예를 들어 제조예 1의 Br)과 친핵성 치환반응으로 방사능 감광제를 반응할 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니며, 반도체 고분자의 측쇄에 도입할 수 있는 어느 유기화학 합성법을 적용할 수 있다. 또한 실시예에서 방사선 감광제로 PPO를 도입하였으나 이에 한정되는 것은 아니며, 공지된 방사능 감광제의 어느 하나의 것을 도입할 수 있다.

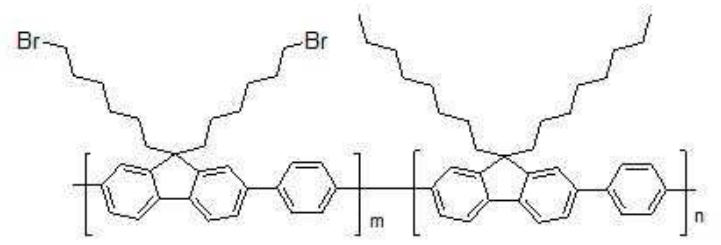
[0072] 화학식 1의 제1 반복단위 또는 제1 반복 단위와 제2 반복단위를 포함하는 유기 섬광 고분자를 포함하는 플라스틱 신틸레이터는 폴리스티렌, 폴리비닐톨루엔, 또는 폴리(메틸 메타크릴레이트), 폴리실록세인 등의 매트릭스 고분자 용액에 용해시킨 뒤 고화시켜 사용하거나 이들 매트릭스 고분자의 단량체와 함께 개시재 존재하에서 광중합, 열중합 등의 가교반응을 통해 사용할 수 있다. 신틸레이터에 사용되는 매트릭스 고분자는 해당 분야에 사용하는 어느 공지된 고분자를 사용하여도 무방하나, 가시광 영역의 흡수가 없는 것이 적절하다. 플라스틱 신틸레이터의 제조과정을 [도 2]에 나타냈다.

[0073] 방사선 검출을 위해 플라스틱 신틸레이터를 광학 그리스를 사용하여 광전자 증배관과 접촉시키고 신틸레이터에 방사선원을 위치시킨 뒤 어두운 환경을 조성하여 1시간 동안 평형을 유지한다. 광전자 증배관과 pre-amplifier, amplifier 및 전원 공급 장치를 연결하고 출력 데이터는 PC에서 계측 소프트웨어로 스펙트럼을 수집했다. 달리 지정하지 않는 한 측정시간 (live time)은 600초로 설정되었으나 이에 한정되는 것은 아니다. 방사선 검출을 위한 제조장치는 [도 3]에 나타냈다.

[0075] 이하, 본 발명의 이해를 돕기 위하여 실시예를 참고하여 본 발명을 보다 상세히 설명한다. 그러나 하기의 실시예는 본 발명을 보다 쉽게 이해하기 위하여 제공되는 것일 뿐, 하기 실시예에 의해 본 발명의 내용이 한정되는 것은 아니다.

[0077] **[제조예 1]: 반도체 고분자의 합성 (S100)**

[0078] [화학식 aa]



[0079]

[0080] **제조예 1-1**: (CP1) (m=5, n=5)

[0081] 상기 화학식 aa의 반도체 고분자를 제조하기 위하여 3구 둥근 플라스크 에 2,7-dibromo-9,9-bis(6-bromohexyl)-9H-fluorene (0.36 g, 0.5 mmol), 1,4-benzenediboronic acid bis(pinacol) ester (0.33 g, 1 mmol), 9,9-dioctyl-2,7-dibromofluorene (0.27 g, 0.5 mmol)과 촉매인 tetrakis(triphenylphosphine)palladium (0.05 mmol)을 3구 둥근 플라스크에 넣고 환류기를 장착하여 아르곤 기체로 purging 했다. 습기가 제거된 12 mL의 toluene을 넣고 촉매와 반응물을 녹인 뒤, 3 mL의 K_2CO_3 (2 M) 수용액을 넣고 90°C에서 48시간 동안 교반했다. 반응 후 상온으로 냉각하고 메탄올에 부어 고체를 석출시킨 다음 석출물 여과했다. 수득한 고체를 메탄올, 아세톤으로 Soxhlet 정제한 뒤, 건조하여 CP1을 얻었다. ^{1}H NMR (300 MHz, $CDCl_3$): δ_{ppm}= 7.815-7.486 (m, 10H), 3.295-3.274 (m, 2H), 2.084-2.006 (m, 4H), 1.668-1.553 (m, 2H), 1.253-1.108 (m, 16H), 0.815-0.793 (m, 5H).

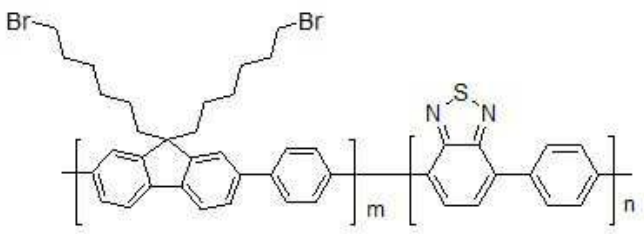
[0083] **제조예 1-2**: (CP2) (m=7, n=3)

[0084] 상기 화학식의 반도체 고분자를 제조하기 위하여 3구 둥근 플라스크에 2,7-dibromo-9,9-bis(6-bromohexyl)-9H-fluorene (0.7 mmol), 1,4-benzenediboronic acid bis(pinacol) ester (1 mmol), 9,9-dioctyl-2,7-dibromofluorene (0.3 mmol)과 촉매인 tetrakis(triphenylphosphine)palladium (0.05 mmol)을 3구 둥근 플라스크 넣고 환류기를 장착하여 아르곤 기체로 purging 했다. 습기가 제거된 12 mL의 toluene을 넣고 촉매와 반응물을 녹인 뒤, 3 mL의 K_2CO_3 (2 M) 수용액을 넣고 90°C에서 48시간 동안 교반했다. 반응 후 상온으로 냉각하고 메탄올에 부어 고체를 석출시킨 다음 석출물 여과했다. 수득한 고체를 메탄올, 아세톤으로 Soxhlet 정제한 뒤, 건조하여 CP2을 얻었다. ^{1}H NMR (300 MHz, $CDCl_3$): δ_{ppm}=7.817-7.594 (m, 10H), 3.392-9.275 (m, 2.8H), 2.075 (m, 4H), 1.682-1.616 (m, 2.8H), 1.255-1.109 (m, 14.4H), 0.813 (m, 7H).

[0086] **제조예 1-3**: (CP3) (m=10, n=0)

[0087] 상기 화학식의 반도체 고분자를 제조하기 위하여 3구 둥근 플라스크에 9,9-Dioctyl-2,7-dibromofluorene (1 mmol), 1,4-benzenediboronic acid bis(pinacol) ester (1 mmol)과 촉매인 tetrakis(triphenylphosphine)palladium (0.05 mmol)을 3구 둥근 플라스크에 넣고 환류기를 장착하여 아르곤 기체로 purging 했다. 습기가 제거된 12 mL의 toluene을 넣고 촉매와 반응물을 녹인 뒤, 3 mL의 K_2CO_3 (2 M) 수용액을 넣고 90 °C에서 48시간 동안 교반했. 반응 후 상온으로 냉각하고 메탄올에 부어 고체를 석출시킨 다음 석출물 여과했다. 수득한 고체를 메탄올, 아세톤으로 Soxhlet 정제한 뒤, 건조하여 CP3을 얻었다. ^{1}H NMR (300 MHz, $CDCl_3$): δ_{ppm}=7.820-7.481 (m, 10H), 3.319-3.275 (m, 4H), 2.079-2.031 (m, 4H), 1.681-1.660 (m, 4H), 1.229-0.689 (m, 12H).

[0089] [화학식 ab]



[0090]

[0091] **제조예 1-4**: (CP4) (m=5, n=5)

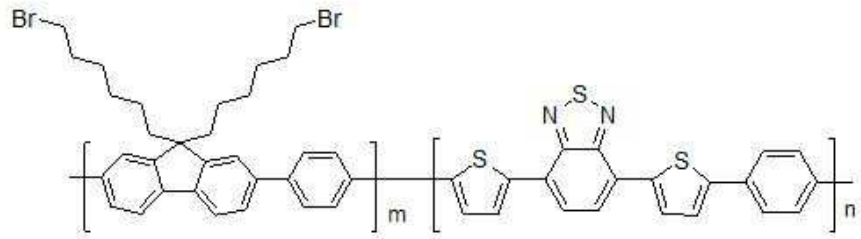
[0092] 상기 화학식 ab의 반도체 고분자를 제조하기 위하여 3구 둥근 플라스크 에 2,7-dibromo-9,9-bis(6-

bromohexyl)-9H-fluorene (0.36 g, 0.5 mmol), 1,4-benzenediboronic acid bis(pinacol) ester (0.33 g, 1 mmol), 4,7-dibromobenzo[c]-1,2,5-thiadiazole (0.15 g, 0.5 mmol)과 촉매인 tetrakis(triphenylphosphine)palladium (0.05 mmol)을 3구 둥근 플라스크에 넣고 환류기를 장착하여 아르곤 기체로 purging 했다. 습기가 제거된 12 mL의 toluene을 넣고 촉매와 반응물을 녹인 뒤, 3 mL의 K_2CO_3 (2 M) 수용액을 넣고 90°C에서 48시간 동안 교반했다. 반응 후 상온으로 냉각하고 메탄올에 부어 고체를 석출시킨 다음 석출물 여과했다. 수득한 고체를 메탄올, 아세톤으로 Soxhlet 정제한 뒤, 건조하여 CP4을 얻었다. ^{1}H NMR (300 MHz, $CDCl_3$): δ_{ppm}= 8.34-8.01 (m, 3H) 7.825-7.446 (m, 5H), 3.47-3.32 (m, 2H), 2.05-1.025 (m, 10H).

[0094] **제조예 1-5**: (CP5) (m=7, n=3)

[0095] 상기 화학식 ab의 반도체 고분자를 제조하기 위하여 3구 둥근 플라스크 에 2,7-dibromo-9,9-bis(6-bromohexyl)-9H-fluorene (0.7 mmol), 1,4-benzenediboronic acid bis(pinacol) ester (1 mmol), 4,7-dibromobenzo[c]-1,2,5-thiadiazole (0.088g, 0.3 mmol)과 촉매인 tetrakis(triphenylphosphine)palladium (0.05 mmol)을 3구 둥근 플라스크에 넣고 환류기를 장착하여 아르곤 기체로 purging 했다. 습기가 제거된 12 mL의 toluene을 넣고 촉매와 반응물을 녹인 뒤, 3 mL의 K_2CO_3 (2 M) 수용액을 넣고 90 °C에서 48시간 동안 교반했다. 반응 후 상온으로 냉각하고 메탄올에 부어 고체를 석출시킨 다음 석출물 여과했다. 수득한 고체를 메탄올, 아세톤으로 Soxhlet 정제한 뒤, 건조하여 CP5을 얻었다. ^{1}H NMR (300 MHz, $CDCl_3$): δ_{ppm}=8.24-8.03 (m, 1.8 H), 7.802-7.472 (m, 7H), 3.41-3.25 (m, 2.8H), 2.075-0.813 (m, 16.8H).

[0097] [화학식 ac]



[0098]

[0099] **제조예 1-6**: (CP6) (m=5, n=5)

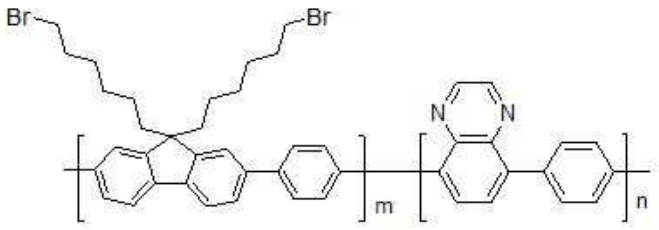
[0100] 상기 화학식 ac 의 반도체 고분자를 제조하기 위하여 3구 둥근 플라스크 에 2,7-dibromo-9,9-bis(6-bromohexyl)-9H-fluorene (0.36 g, 0.5 mmol), 1,4-benzenediboronic acid bis(pinacol) ester (0.33 g, 1 mmol), 4,7-bis(5-bromothiophen-2-yl)benzo[c][1,2,5]thiadiazole (0.15 g, 0.5 mmol)과 촉매인 tetrakis(triphenylphosphine)palladium (0.05 mmol)을 3구 둥근 플라스크에 넣고 환류기를 장착하여 아르곤 기체로 purging 했다. 습기가 제거된 12 mL의 toluene을 넣고 촉매와 반응물을 녹인 뒤, 3 mL의 K_2CO_3 (2 M) 수용액을 넣고 90 °C에서 48시간 동안 교반했다. 반응 후 상온으로 냉각하고 메탄올에 부어 고체를 석출시킨 다음 석출물 여과했다. 수득한 고체를 메탄올, 아세톤으로 Soxhlet 정제한 뒤, 건조하여 CP6을 얻었다. ^{1}H NMR (300 MHz, $CDCl_3$): δ_{ppm}= 8.17-7.86 (m, 5H), 7.7-7.52 (m, 5H), 3.295-3.274 (m, 2H), 2.084-1.983 (m, 4H), 0.832-0.793 (m, 6H).

[0102] **제조예 1-7**: (CP7) (m=7, n=3)

[0103] 상기 화학식 ac 의 반도체 고분자를 제조하기 위하여 3구 둥근 플라스크 에 2,7-dibromo-9,9-bis(6-bromohexyl)-9H-fluorene (0.7 mmol), 1,4-benzenediboronic acid bis(pinacol) ester (1 mmol), 4,7-dibromobenzo[c]-1,2,5-thiadiazole (0.14g, 0.3 mmol)과 촉매인 tetrakis(triphenylphosphine)palladium

(0.05 mmol)을 3구 둥근 플라스크에 넣고 환류기를 장착하여 아르곤 기체로 purging 했다. 습기가 제거된 12 mL의 toluene을 넣고 촉매와 반응물을 녹인 뒤, 3 mL의 K_2CO_3 (2 M) 수용액을 넣고 90 °C에서 48시간 동안 교반했다. 반응 후 상온으로 냉각하고 메탄올에 부어 고체를 석출시킨 다음 석출물 여과했다. 수득한 고체를 메탄올, 아세톤으로 Soxhlet 정제한 뒤, 건조하여 CP7을 얻었다. ^{1}H NMR (300 MHz, $CDCl_3$): δ_{ppm}=8.24-8.02 (m, 3H), 7.71-7.42 (m, 7H), 3.392-2.85 (m, 2.8H), 2.42-2.075 (m, 2.8H), 1.682-0.816 (m, 11.2H).

[0105] [화학식 ad]



[0106]

[0107] **제조예 1-8**: (CP8) (m=5, n=5)

[0108] 상기 화학식 ad 의 반도체 고분자를 제조하기 위하여 3구 둥근 플라스크 에 2,7-dibromo-9,9-bis(6-bromohexyl)-9H-fluorene (0.36 g, 0.5 mmol), 1,4-benzenediboronic acid bis(pinacol) ester (0.33 g, 1 mmol 5,8-dibromoquinoxaline (0.14 g, 0.5 mmol)과 촉매인 tetrakis(triphenylphosphine)palladium (0.05 mmol)을 3구 둥근 플라스크에 넣고 환류기를 장착하여 아르곤 기체로 purging 했다. 습기가 제거된 12 mL의 toluene을 넣고 촉매와 반응물을 녹인 뒤, 3 mL의 K_2CO_3 (2 M) 수용액을 넣고 90 °C에서 48시간 동안 교반했다. 반응 후 상온으로 냉각하고 메탄올에 부어 고체를 석출시킨 다음 석출물 여과했다. 수득한 고체를 메탄올, 아세톤으로 Soxhlet 정제한 뒤, 건조하여 CP8을 얻었다. ^{1}H NMR (300 MHz, $CDCl_3$): δ_{ppm}= 8.17-7.83 (m, 4H), 7.72-7.53 (m, 5H), 3.45-3.16 (m, 2H), 2.074-2.02 (m, 2H), 1.672-0.762 (m, 8H).

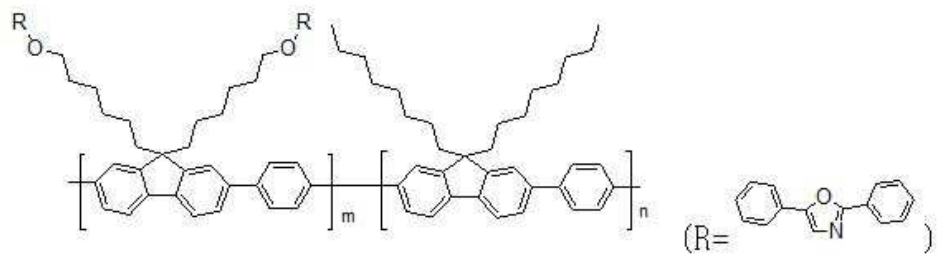
[0110] **제조예 1-9**: (CP9) (m=7, n=3)

[0111] 상기 화학식 ad의 반도체 고분자를 제조하기 위하여 3구 둥근 플라스크 에 2,7-dibromo-9,9-bis(6-bromohexyl)-9H-fluorene (0.7 mmol), 1,4-benzenediboronic acid bis(pinacol) ester (1 mmol), 5,8-dibromoquinoxaline (0.08 g, 0.3 mmol)과 촉매인 tetrakis(triphenylphosphine)palladium (0.05 mmol)을 3구 둥근 플라스크에 넣고 환류기를 장착하여 아르곤 기체로 purging 했다. 습기가 제거된 12 mL의 toluene을 넣고 촉매와 반응물을 녹인 뒤, 3 mL의 K_2CO_3 (2 M) 수용액을 넣고 90 °C에서 48시간 동안 교반했다. 반응 후 상온으로 냉각하고 메탄올에 부어 고체를 석출시킨 다음 석출물 여과했다. 수득한 고체를 메탄올, 아세톤으로 Soxhlet 정제한 뒤, 건조하여 CP9을 얻었다. ^{1}H NMR (300 MHz, $CDCl_3$): δ_{ppm}=8.07-7.86 (2.4H), 7.57-7.24 (m, 7H), 3.24-2.98 (m, 2.8H), 2.062 (m, 2.8H), 1.72-0.902 (m, 11.2H).

[0113] **[제조예 2]: 반도체 고분자에 감광제의 도입 (S200)**

[0114] 반도체 고분자에 감광제를 도입하는 과정은 제조예 1에서 합성한 고분자와 과량의 3-(5-Phenyloxazol-2-yl)phenol의 반응으로 수행됐으며 화학식 Aa로 표기할 수 있다.

[0115] [화학식 Aa]

[0116] 

[0117] **제조예 2-1:** (CP1-PPO)

[0118] 제조예 1-1의 CP1 (0.55 mmol)와 4 당량의 K_2CO_3를 3구 둥근 플라스크에 넣고 환류기를 장착하여 아르곤 기체로 퍼징했다. THF를 넣고 CP1을 녹인 뒤, CP1 대비 4 당량의 PPO를 소량의 DMF에 녹여 CP1 용액에 적가했다. 반응은 80℃에서 48 시간 동안 수행했다. 반응 종료 후 상온으로 냉각하고 혼합물을 농축시켜 아세톤에 침전시킨 뒤 침전물을 여과했다. 침전물을 클로로포름에 녹인 뒤 물과 extraction하여 K_2CO_3를 제거한 뒤, 유기층을 $MgSO_4$로 수분을 제거했다. 유기층을 농축시켜 아세톤에 침전시킨 뒤, 침전물을 여과하여 회색의 고체 (이하 CP1-PPO)를 얻었다. ^{1}H NMR (300 MHz, $CDCl_3$) δ_{ppm}: 7.820-7.481 (m, 19H), 6.908-6.827 (m, 1H) 3.881 (m, 2H), 2.173 (m, 4H), 1.622 (m, 2H), 1.254-1.108 (m, 16H), 0.881-0.801 (m, 5H).

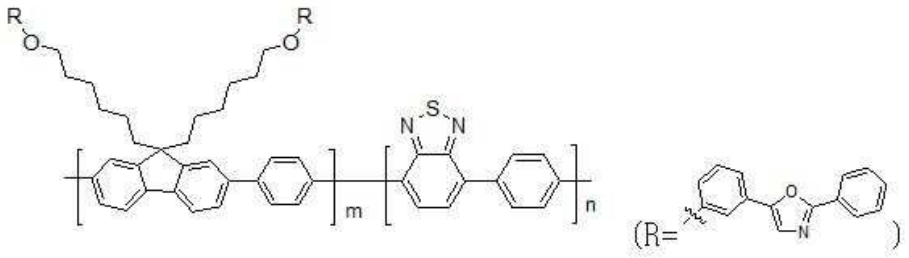
[0120] **제조예 2-2:** (CP2-PPO)

[0121] 제조예 1-2의 CP2 (0.18 mmol)와 4 당량의 K_2CO_3를 3구 둥근 플라스크에 넣고 환류기를 장착하여 아르곤 기체로 퍼징했다. THF를 넣고 CP2을 녹인 뒤, CP2 대비 4 당량의 PPO를 소량의 DMF에 녹여 CP2 용액에 적가했다. 반응은 80℃에서 48 시간 동안 수행하였다. 반응 종료 후 상온으로 냉각하고 혼합물을 농축시켜 아세톤에 침전시킨 뒤 침전물을 여과했다. 침전물을 클로로포름에 녹인 뒤 물과 extraction하여 K_2CO_3를 제거한 뒤, 유기층을 $MgSO_4$로 수분을 제거했다. 유기층을 농축시켜 아세톤에 침전시킨 뒤, 침전물을 여과하여 회색의 고체 (이하 CP2-PPO)를 얻었다. ^{1}H NMR (300 MHz, $CDCl_3$) δ_{ppm}: 7.785-7.570 (m, 21.6H), 6.918-6.788 (m, 1.4H) 4.065-3.742 (m, 2.8H), 2.036 (m, 4H), 1.591 (m, 2.8H), 1.254-1.102 (m, 14.4H), 0.879-0.805 (m, 7H).

[0123] **제조예 2-3:** (CP3-PPO)

[0124] 제조예 1-3의 CP3 (0.6 mmol)와 4 당량의 K_2CO_3를 3구 둥근 플라스크에 넣고 환류기를 장착하여 아르곤 기체로 퍼징했다. THF를 넣고 CP3을 녹인 뒤, CP3 대비 4 당량의 PPO를 소량의 DMF에 녹여 CP3 용액에 적가했다. 반응은 80℃에서 48 시간 동안 수행하였다. 반응 종료 후 상온으로 냉각하고 혼합물을 농축시켜 아세톤에 침전시킨 뒤 침전물을 여과했다. 침전물을 클로로포름에 녹인 뒤 물과 extraction하여 K_2CO_3를 제거한 뒤, 유기층을 $MgSO_4$로 수분을 제거했다. 유기층을 농축시켜 아세톤에 침전시킨 뒤, 침전물을 여과하여 회색의 고체 (이하 CP3-PPO)를 얻었다. ^{1}H NMR (300 MHz, $CDCl_3$) δ_{ppm}: 7.774-7.495 (m, 10H), 6.894-6.730 (m, 2H), 3.880 (m, 4H), 2.139-2.081 (m, 4H), 1.568 (m, 4H), 0.875-0.741 (m, 12H).

[0126] [화학식 Ab]



[0127]

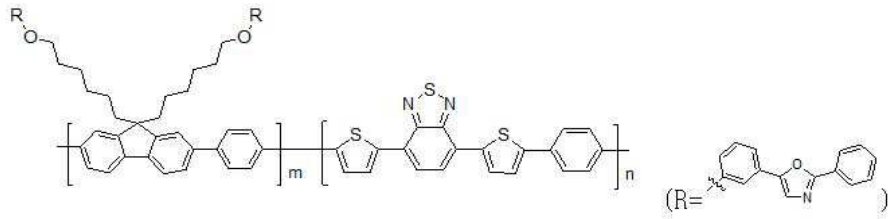
[0128] **제조예 2-4:** (CP4-PPO)

[0129] 제조예 1-4의 CP4 (0.5 mmol)와 4 당량의 K_2CO_3를 3구 둥근 플라스크에 넣고 환류기를 장착하여 아르곤 기체로 퍼징했다. THF를 넣고 CP4을 녹인 뒤, CP4 대비 4 당량의 PPO를 소량의 DMF에 녹여 CP4 용액에 적가했다. 반응은 80℃에서 48 시간 동안 수행했다. 반응 종료 후 상온으로 냉각하고 혼합물을 농축시켜 아세톤에 침전시킨 뒤 침전물을 여과했다. 침전물을 클로로포름에 녹인 뒤 물과 extraction하여 K_2CO_3를 제거한 뒤, 유기층을 $MgSO_4$로 수분을 제거했다. 유기층을 농축시켜 아세톤에 침전시킨 뒤, 침전물을 여과하여 회색의 고체 (이하 CP4-PPO)를 얻었다. ^{1}H NMR (300 MHz, $CDCl_3$) δ_{ppm}: 8.17-7.98 (m, 3H), 7.720-7.381 (m, 19H), 6.808-6.727 (m, 1H), 3.47-3.32 (m, 2H), 2.05-1.025 (m, 10H).

[0131] **제조예 2-5:** (CP5-PPO)

[0132] 제조예 1-5의 CP5 (0.2 mmol)와 4 당량의 K_2CO_3를 3구 둥근 플라스크에 넣고 환류기를 장착하여 아르곤 기체로 퍼징했다. THF를 넣고 CP5을 녹인 뒤, CP5 대비 4 당량의 PPO를 소량의 DMF에 녹여 CP5 용액에 적가했다. 반응은 80℃에서 48 시간 동안 수행하였다. 반응 종료 후 상온으로 냉각하고 혼합물을 농축시켜 아세톤에 침전시킨 뒤 침전물을 여과했다. 침전물을 클로로포름에 녹인 뒤 물과 extraction하여 K_2CO_3를 제거한 뒤, 유기층을 $MgSO_4$로 수분을 제거했다. 유기층을 농축시켜 아세톤에 침전시킨 뒤, 침전물을 여과하여 회색의 고체 (이하 CP5-PPO)를 얻었다. ^{1}H NMR (300 MHz, $CDCl_3$) δ_{ppm}: 8.24-8.03 (m, 1.8 H), 7.685-7.470 (m, 21.6H), 6.718-6.688 (m, 1.4H), 3.41-3.25 (m, 2.8H), 2.075-0.813 (m, 16.8H).

[0134] [화학식 Ac]



[0135]

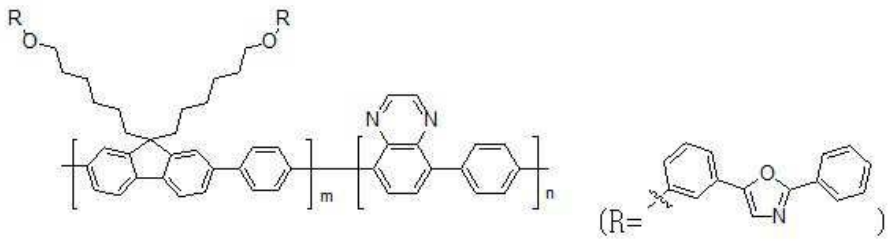
[0136] **제조예 2-6:** (CP6-PPO)

[0137] 제조예 1-6의 CP6 (0.4 mmol)와 4 당량의 K_2CO_3를 3구 둥근 플라스크에 넣고 환류기를 장착하여 아르곤 기체로 퍼징했다. THF를 넣고 CP6을 녹인 뒤, CP6대비 4 당량의 PPO를 소량의 DMF에 녹여 CP6 용액에 적가했다. 반응은 80℃에서 48 시간 동안 수행했다. 반응 종료 후 상온으로 냉각하고 혼합물을 농축시켜 아세톤에 침전시킨 뒤 침전물을 여과했다. 침전물을 클로로포름에 녹인 뒤 물과 extraction하여 K_2CO_3를 제거한 뒤, 유기층을 $MgSO_4$로 수분을 제거했다. 유기층을 농축시켜 아세톤에 침전시킨 뒤, 침전물을 여과하여 회색의 고체 (이하 CP6-PPO)를 얻었다. ^{1}H NMR (300 MHz, $CDCl_3$) δ_{ppm}: 8.17-7.86 (m, 5H), 7.830-7.491 (m, 19H), 6.918-6.847 (m, 1H), 3.305-3.284 (m, 2H), 2.084-1.983 (m, 4H), 0.832-0.793 (m, 6H).

[0139] **제조예 2-7:** (CP7-PPO)

[0140] 제조예 1-7의 CP7 (0.33 mmol)와 4 당량의 K_2CO_3를 3구 둥근 플라스크에 넣고 환류기를 장착하여 아르곤 기체로 퍼징했다. THF를 넣고 CP7을 녹인 뒤, CP7 대비 4 당량의 PPO를 소량의 DMF에 녹여 CP7 용액에 적가했다. 반응은 80℃에서 48 시간 동안 수행하였다. 반응 종료 후 상온으로 냉각하고 혼합물을 농축시켜 아세톤에 침전시킨 뒤 침전물을 여과했다. 침전물을 클로로포름에 녹인 뒤 물과 extraction하여 K_2CO_3를 제거한 뒤, 유기층을 $MgSO_4$로 수분을 제거했다. 유기층을 농축시켜 아세톤에 침전시킨 뒤, 침전물을 여과하여 회색의 고체 (이하 CP7-PPO)를 얻었다. ^{1}H NMR (300 MHz, $CDCl_3$) δ_{ppm}: 8.24-8.02 (m, 3H), 7.784-7.549 (m, 21.6H), 6.917-6.787 (m, 1.4H), 3.392-2.85 (m, 2.8H), 2.42-2.075 (m, 2.8H), 1.682-0.816 (m, 11.2H).

[0142] [화학식 Ad]



[0143]

[0144] **제조예 2-8:** (CP8-PPO)

[0145] 제조예 1-8의 CP8 (0.6 mmol)와 4 당량의 K_2CO_3를 3구 둥근 플라스크에 넣고 환류기를 장착하여 아르곤 기체로 퍼징했다. THF를 넣고 CP8을 녹인 뒤, CP8대비 4 당량의 PPO를 소량의 DMF에 녹여 CP8 용액에 적가했다. 반응은 80℃에서 48 시간 동안 수행했다. 반응 종료 후 상온으로 냉각하고 혼합물을 농축시켜 아세톤에 침전시킨 뒤 침전물을 여과했다. 침전물을 클로로포름에 녹인 뒤 물과 extraction하여 K_2CO_3를 제거한 뒤, 유기층을 $MgSO_4$로 수분을 제거했다. 유기층을 농축시켜 아세톤에 침전시킨 뒤, 침전물을 여과하여 회색의 고체 (이하 CP8-PPO)를 얻었다. ^{1}H NMR (300 MHz, $CDCl_3$) δ_{ppm}: 8.17-7.83 (m, 4H), 7.620-7.281 (m, 19H), 6.708-6.627 (m, 1H), 3.45-3.16 (m, 2H), 2.074-2.02 (m, 2H), 1.672-0.762 (m, 8H).

[0147] **제조예 2-9:** (CP9-PPO)

[0148] 제조예 1-9의 CP9 (0.4 mmol)와 4 당량의 K_2CO_3를 3구 둥근 플라스크에 넣고 환류기를 장착하여 아르곤 기체로 퍼징했다. THF를 넣고 CP9을 녹인 뒤, CP9 대비 4 당량의 PPO를 소량의 DMF에 녹여 CP9 용액에 적가했다. 반응은 80℃에서 48 시간 동안 수행하였다. 반응 종료 후 상온으로 냉각하고 혼합물을 농축시켜 아세톤에 침전시킨 뒤 침전물을 여과했다. 침전물을 클로로포름에 녹인 뒤 물과 extraction하여 K_2CO_3를 제거한 뒤, 유기층을 $MgSO_4$로 수분을 제거했다. 유기층을 농축시켜 아세톤에 침전시킨 뒤, 침전물을 여과하여 회색의 고체 (이하 CP9-PPO)를 얻었다. ^{1}H NMR (300 MHz, $CDCl_3$) δ_{ppm}: 8.07-7.86 (2.4H), 7.57-7.24 (m, 7H), 7.675-7.46 (m, 21.6H), 6.898-6.578 (m, 1.4H), 3.24-2.98 (m, 2.8H), 2.062 (m, 2.8H), 1.72-0.902 (m, 11.2H).

[0150] **제조예 3: 방사선 감광제가 공유결합된 반도체 고분자를 포함하는 플라스틱 신틸레이터의 제조 (S300)**

[0151] 플라스틱 신틸레이터는 vinyltoluene에 개시제인 AIBN과 제조예 2에서 제조한 CP1-PPO 내지 CP3-PPO을 녹여 40 ℃ 에서 72시간 동안 밀봉된 Petri dish에서 열중합했다. 상온으로 냉각 후, 중합된 플리스틱 신틸레이터를 Petri dish에서 분리한 뒤, 광전자 증배관의 지름 (2 inch)에 맞게 재단했다. 함량에 따른 방사선 검출 효과를 확인하기 위해 함량을 0 에서 1 wt%로 증가하여 제조했으며 반도체 고분자 종류 및 함량에 따른 플라스틱 신틸

레이터는 아래의 [표 1]과 같다.

표 1

[0152]

	반도체 고분자	함량 (wt%)
제조예 3-1	CP1-PPO	0.05
제조예 3-2	CP1-PPO	0.1
제조예 3-3	CP2-PPO	0.05
제조예 3-4	CP2-PPO	0.1
제조예 3-5	CP3-PPO	0.05
제조예 3-6	CP3-PPO	0.1
제조예 3-7	CP4-PPO	0.05
제조예 3-8	CP4-PPO	0.1
제조예 3-9	CP5-PPO	0.05
제조예 3-10	CP5-PPO	0.1
제조예 3-11	CP6-PPO	0.05
제조예 3-12	CP6-PPO	0.1
제조예 3-13	CP7-PPO	0.05
제조예 3-14	CP7-PPO	0.1
제조예 3-15	CP8-PPO	0.05
제조예 3-16	CP8-PPO	0.1
제조예 3-17	CP9-PPO	0.05
제조예 3-18	CP9-PPO	0.1

[0154] **[비교 제조예]**

[0155] **[비교 제조예 1] 반도체 고분자가 없는 플라스틱 신틸레이터의 제조**

[0156] Vinyltoluene에 개시제인 AIBN을 녹여 40℃에서 72시간 동안 밀봉된 Petri dish에서 열중합했다. 상온으로 냉각 후, 중합된 플리스틱 신틸레이터를 Petri dish에서 분리한 뒤, 광전자 증배관의 지름 (2 inch)에 맞게 재단했다.

[0158] **[비교 제조예 2] 감광제만 포함된 플라스틱 신틸레이터의 제조**

[0159] Vinyltoluene에 PPO 0.1 wt%와 개시제인 AIBN을 녹여 40℃ 에서 72시간 동안 밀봉된 Petri dish에서 열중합했다. 상온으로 냉각 후, 중합된 플리스틱 신틸레이터를 Petri dish에서 분리한 뒤, 광전자 증배관의 지름 (2 inch)에 맞게 재단했다.

[0161] **[비교 제조예 3] 감광제가 도입되지 않은 반도체 고분자가 포함된 플라스틱 신틸레이터의 제조**

[0162] Vinyltoluene에 제조예 1에서 제조한 반도체 고분자 CP1 내지 CP9 중 어느 하나 (0.1 wt%)와 개시제인 AIBN을 녹여 40℃ 에서 72시간 동안 밀봉된 Petri dish에서 열중합했다. 상온으로 냉각 후, 중합된 플리스틱 신틸레이터를 Petri dish에서 분리한 뒤, 광전자 증배관의 지름 (2 inch)에 맞게 재단했다. 반도체 고분자 CP1 내지 CP9으로 제조한 플라스틱 신틸레이터는 비교 제조예 3-1 내지 비교 제조예 3-9로 한다.

[0164] **[비교 제조예 4] 감광제와 반도체 고분자가 혼합된 플라스틱 신틸레이터의 제조**

[0165] **비교 제조예 4-1**: Vinyltoluene에 제조예 1에서 제조한 반도체 고분자 CP1 (0.1 wt%) 와 PPO (0.05 wt%)의 및 개시제인 AIBN을 녹여 40℃에서 72시간 동안 밀봉된 Petri dish에서 열중합했다. 상온으로 냉각 후, 중합된 플리스틱 신틸레이터를 Petri dish에서 분리한 뒤, 광전자 증배관의 지름 (2 inch)에 맞게 재단했다.

[0167] **비교 제조예 4-2**: Vinyltoluene에 제조예 1에서 제조한 반도체 고분자 CP2 (0.1 wt%) 와 PPO (0.07 wt%)의 및

개시제인 AIBN을 녹여 40℃에서 72시간 동안 밀봉된 Petri dish에서 열중합했다. 상온으로 냉각 후, 중합된 플리스틱 신틸레이터를 Petri dish에서 분리한 뒤, 광전자 증배관의 지름 (2 inch)에 맞게 재단했다.

[0169] **비교 제조예 4-3**: Vinyltoluene에 제조예 1에서 제조한 반도체 고분자 CP3 (0.1 wt%) 와 PPO (0.1 wt%)의 및 개시제인 AIBN을 녹여 40℃ 에서 72시간 동안 밀봉된 Petri dish에서 열중합했다. 상온으로 냉각 후, 중합된 플리스틱 신틸레이터를 Petri dish에서 분리한 뒤, 광전자 증배관의 지름 (2 inch)에 맞게 재단했다.

[0171] **비교 제조예 4-4**: Vinyltoluene에 제조예 1에서 제조한 반도체 고분자 CP4 (0.1 wt%) 와 PPO (0.1 wt%)의 및 개시제인 AIBN을 녹여 40℃ 에서 72시간 동안 밀봉된 Petri dish에서 열중합했다. 상온으로 냉각 후, 중합된 플리스틱 신틸레이터를 Petri dish에서 분리한 뒤, 광전자 증배관의 지름 (2 inch)에 맞게 재단했다.

[0173] **비교 제조예 4-5**: Vinyltoluene에 제조예 1에서 제조한 반도체 고분자 CP5 (0.1 wt%) 와 PPO (0.1 wt%)의 및 개시제인 AIBN을 녹여 40℃ 에서 72시간 동안 밀봉된 Petri dish에서 열중합했다. 상온으로 냉각 후, 중합된 플리스틱 신틸레이터를 Petri dish에서 분리한 뒤, 광전자 증배관의 지름 (2 inch)에 맞게 재단했다.

[0175] **비교 제조예 4-6**: Vinyltoluene에 제조예 1에서 제조한 반도체 고분자 CP6 (0.1 wt%) 와 PPO (0.1 wt%)의 및 개시제인 AIBN을 녹여 40℃ 에서 72시간 동안 밀봉된 Petri dish에서 열중합했다. 상온으로 냉각 후, 중합된 플리스틱 신틸레이터를 Petri dish에서 분리한 뒤, 광전자 증배관의 지름 (2 inch)에 맞게 재단했다.

[0177] **비교 제조예 4-7**: Vinyltoluene에 제조예 1에서 제조한 반도체 고분자 CP7 (0.1 wt%) 와 PPO (0.1 wt%)의 및 개시제인 AIBN을 녹여 40℃ 에서 72시간 동안 밀봉된 Petri dish에서 열중합했다. 상온으로 냉각 후, 중합된 플리스틱 신틸레이터를 Petri dish에서 분리한 뒤, 광전자 증배관의 지름 (2 inch)에 맞게 재단했다.

[0179] **비교 제조예 4-8**: Vinyltoluene에 제조예 1에서 제조한 반도체 고분자 CP8 (0.1 wt%) 와 PPO (0.1 wt%)의 및 개시제인 AIBN을 녹여 40℃ 에서 72시간 동안 밀봉된 Petri dish에서 열중합했다. 상온으로 냉각 후, 중합된 플리스틱 신틸레이터를 Petri dish에서 분리한 뒤, 광전자 증배관의 지름 (2 inch)에 맞게 재단했다.

[0181] **비교 제조예 4-9**: Vinyltoluene에 제조예 1에서 제조한 반도체 고분자 CP9 (0.1 wt%) 와 PPO (0.1 wt%)의 및 개시제인 AIBN을 녹여 40℃ 에서 72시간 동안 밀봉된 Petri dish에서 열중합했다. 상온으로 냉각 후, 중합된 플리스틱 신틸레이터를 Petri dish에서 분리한 뒤, 광전자 증배관의 지름 (2 inch)에 맞게 재단했다.

[0183] 본 발명에 사용된 비교 제조예는 아래 [표 2]과 같다.

표 2

[0184]

	감광제 종류
비교 제조예 1	-
비교 제조예 2	PPO
비교 제조예 3-1	CP1
비교 제조예 3-2	CP2
비교 제조예 3-3	CP3
비교 제조예 3-4	CP4
비교 제조예 3-5	CP5
비교 제조예 3-6	CP6
비교 제조예 3-7	CP7
비교 제조예 3-8	CP8

비교 제조예 3-9	CP9
비교 제조예 4-1	CP1 + PPO
비교 제조예 4-2	CP2 + PPO
비교 제조예 4-3	CP3 + PPO
비교 제조예 4-4	CP4 + PPO
비교 제조예 4-5	CP5 + PPO
비교 제조예 4-6	CP6 + PPO
비교 제조예 4-7	CP7 + PPO
비교 제조예 4-8	CP8 + PPO
비교 제조예 4-9	CP9 + PPO

[0186] **[실시예]**

[0187] **[실시예 1]: Sr-90 방사선원 감지 실험**

[0188] Sr-90 방사선원 감지 실험은 도 3으로 표시된 장치 구성을 통해 수행하였으며, [도 4]는 방사선 감광제가 결합된 반도체 고분자의 함량에 따른 에너지 스펙트럼을 비교하기 위해 0 wt%인 비교 제조예 1 (실시예 1-1)과 0.05 wt%인 제조예 3-3 (실시예 1-4), 0.1 wt%인 제조예 3-4 (실시예 1-5)를 사용하여 측정한 에너지 스펙트럼이다. 방사선 감광제가 결합된 반도체 고분자의 함량이 증가할수록 검출되는 광자의 수가 증가하는 것을 할 수 있으며, 이 에너지 스펙트럼을 통해 비교 제조예 및 제조예의 플라스틱 신틸레이터의 검출 효율을 아래의 식으로 계산했다.

[0189] [식 1]

[0190] $$\text{Intrinsic efficiency (\%)} = \text{absolute efficiency X } \frac{4\pi}{\text{solid angle}}$$

[0191] Intrinsic efficiency는 방사선이 퍼져 나가는 각도를 고려한 효율을 의미하여, 실시예에서 측정한 방사선원은 Sr-90 또는 C-14의 베타선원을 사용하였기 때문에 intrinsic efficiency를 따르는 것이 유효하며 absolute efficiency과 solid angle는 아래의 식 2 및 3으로 구할 수 있다.

[0192] [식 2]

[0193] $$\text{Absolute efficiency (\%)} = \frac{\text{Net counting rate}}{\text{Radioactivity}}$$

[0194] Net counting rate는 방사능 계측기로 측정하여 얻어진 스펙트럼의 면적을 측정 시간으로 나눈 값을 의미하며, radioactivity는 방사선원의 반감기를 고려하여 측정시점의 방사능 활성 (단위: Bq)을 의미한다.

[0195] [식 3]

[0196] $$\text{Solid angle (°)} = 2\pi \times \left(1 - \frac{d}{\sqrt{a^2+d^2}}\right)$$

[0197] d는 광전자 증배관의 직경, a는 방사선원과 광전자 증배관 사이의 거리를 의미한다.

[0198] 본 발명에 따른 플라스틱 신틸레이터의 검출효율 결과는 아래 [표 3]과 같다.

표 3

[0199]

실시예	신틸레이터 종류	검출 효율 (%)
실시예 1-1	비교 제조예 1	15.5
실시예 1-2	제조예 3-1	32.40
실시예 1-3	제조예 3-2	45.32
실시예 1-4	제조예 3-3	40.64
실시예 1-5	제조예 3-4	50.1

실시예 1-6	제조예 3-5	41.2
실시예 1-7	제조예 3-6	48.9
실시예 1-8	제조예 3-7	39.3
실시예 1-9	제조예 3-8	41.5
실시예 1-10	제조예 3-9	38.6
실시예 1-11	제조예 3-10	40.3
실시예 1-12	제조예 3-11	37.6
실시예 1-13	제조예 3-12	41.5
실시예 1-14	제조예 3-13	40.1
실시예 1-15	제조예 3-14	44.2
실시예 1-16	제조예 3-15	41.3
실시예 1-17	제조예 3-16	43.9
실시예 1-18	제조예 3-17	38.2
실시예 1-19	제조예 3-18	40.4

[0200] 표 3의 결과와 같이 방사선 감광제가 포함된 반도체 고분자의 함량이 증가할수록 검출 효율이 증가하는 것을 알 수 있으며, 비교 제조예 1 대비 3배 이상의 수준으로 효율이 높게 계산된 것을 알 수 있다.

[0202] **[비교 실시예 1] Sr-90 방사선원 감지 실험**

[0203] 본 발명의 방사선 감광제가 결합된 반도체 고분자의 성능을 비교하기 위하여 [도 5]에 비교 제조예 1 (비교 실시예 1-1)과 방사선 감광제만 포함되어 있는 플라스틱 신틸레이터인 비교 제조예 2 (비교 실시예 1-2), 방사선 감광제가 결합된 반도체 고분자로 제조한 플라스틱 신틸레이터인 제조예 3-4 (비교 실시예 1-21), 방사선 감광제가 결합되지 않은 반도체 고분자로 제조한 플라스틱 신틸레이터인 비교 제조예 3-2 (비교 실시예 1-4), 방사선 감광제가 결합되지 않은 반도체 고분자 및 감광제가 혼합된 플라스틱 신틸레이터인 비교 제조예 4-2 (비교 실시예 1-13)를 사용하여 측정한 에너지 스펙트럼을 나타냈다. 함량은 0.1 wt%로 고정했다. [표 4]의 결과와 같이 본 발명의 제조예 3-4 (비교 실시예 1-21)로 제조한 플라스틱 신틸레이터가 동일 함량에서 비교 실시예과 비교했을 때 가장 많은 광자가 검출되는 것을 알 수 있으며, 검출 효율도 50.5%로 가장 높게 계산됐다. 그 외에 본 발명의 제조예 3-10, 3-14, 3-18로 제조한 플라스틱 신틸레이터 또한 동등한 성능을 나타내는 것을 알 수 있다.

표 4

[0205]

비교 실시예	신틸레이터 종류	검출 효율 (%)
비교 실시예 1-1	비교 제조예 1	15.5
비교 실시예 1-2	비교 제조예 2	17.5
비교 실시예 1-3	비교 제조예 3-1	18.7
비교 실시예 1-4	비교 제조예 3-2	20.62
비교 실시예 1-5	비교 제조예 3-3	19.34
비교 실시예 1-6	비교 제조예 3-4	18.2
비교 실시예 1-7	비교 제조예 3-5	15.3
비교 실시예 1-8	비교 제조예 3-6	11.3
비교 실시예 1-9	비교 제조예 3-7	16.2
비교 실시예 1-10	비교 제조예 3-8	20.1
비교 실시예 1-11	비교 제조예 3-9	25.6
비교 실시예 1-12	비교 제조예 4-1	33
비교 실시예 1-13	비교 제조예 4-2	35
비교 실시예 1-14	비교 제조예 4-3	30.3
비교 실시예 1-15	비교 제조예 4-4	28.2
비교 실시예 1-16	비교 제조예 4-5	24.5
비교 실시예 1-17	비교 제조예 4-6	33.2
비교 실시예 1-18	비교 제조예 4-7	24
비교 실시예 1-19	비교 제조예 4-8	19.9
비교 실시예 1-20	비교 제조예 4-9	21.3

비교 실시예 1-21	제조예 3-4	50.5
비교 실시예 1-22	제조예 3-10	40.3
비교 실시예 1-23	제조예 3-14	40.1
비교 실시예 1-24	제조예 3-18	38.2

[0207] **[실시예 2]: C-14 방사선원 감지 실험**

[0208] C-14 방사선원 감지 실험은 [도 3]으로 표시된 장치 구성을 통해 수행하였으며, 방사선 감광제가 결합된 반도체 고분자의 함량에 따른 에너지 스펙트럼을 비교하기 위해 0 wt%인 비교 제조예 1 (실시예 2)과 0.05 wt%인 제조예 3-3 (실시예 2-4), 0.1 wt%인 제조예 3-4 (실시예 2-5)를 사용했다. 해당 실험에 따른 에너지 스펙트럼은 [도 6]에 나타냈으며, 방사선 감광제가 결합된 반도체 고분자의 함량이 증가할수록 검출되는 광자의 수가 증가하는 것을 알 수 있다. 본 발명의 제조예에서 제조한 플라스틱 신틸레이터의 검출 효율은 아래 [표 5]로 나타냈으며, C-14 방사선원은 Sr-90 대비 에너지가 적기 때문에 낮은 검출 효율로 계산됐다. 하지만 비교 제조예 대비 높은 검출 효율을 나타내는 것으로 보아 C-14 방사선원에 대한 검출능력이 있는 것으로 판단된다.

표 5

[0210]

실시예	신틸레이터 종류	검출 효율 (%)
실시예 2-1	비교 제조예 1	7.71×10^{-5}
실시예 2-2	제조예 3-1	0.026
실시예 2-3	제조예 3-2	0.032
실시예 2-4	제조예 3-3	0.049
실시예 2-5	제조예 3-4	0.056
실시예 2-6	제조예 3-5	0.044
실시예 2-7	제조예 3-6	0.052
실시예 2-8	제조예 3-7	0.022
실시예 2-9	제조예 3-8	0.042
실시예 2-10	제조예 3-9	0.032
실시예 2-11	제조예 3-10	0.051
실시예 2-12	제조예 3-11	0.028
실시예 2-13	제조예 3-12	0.044
실시예 2-14	제조예 3-13	0.038
실시예 2-15	제조예 3-14	0.048
실시예 2-16	제조예 3-15	0.031
실시예 2-17	제조예 3-16	0.041
실시예 2-18	제조예 3-17	0.044
실시예 2-19	제조예 3-18	0.047

[0212] **[비교 실시예 2]: C-14 방사선원 감지 실험**

[0213] 본 발명의 방사선 감광제가 결합된 반도체 고분자의 성능을 비교하기 위하여 [도 7]에 비교 제조예 1 (비교 실시예 2-1)과 방사선 감광제만 포함되어 있는 플라스틱 신틸레이터인 비교 제조예 2 (비교 실시예 2-2), 방사선 감광제가 결합된 반도체 고분자로 제조한 플라스틱 신틸레이터인 제조예 3-4 (비교 실시예 2-21), 방사선 감광제가 결합되지 않은 반도체 고분자로 제조한 플라스틱 신틸레이터인 제조예 3-2 (비교 실시예 2-4), 방사선 감광제가 결합되지 않은 반도체 고분자 및 감광제가 혼합된 플라스틱 신틸레이터인 비교 제조예 4-2 (비교 실시예 2-13)를 사용하여 측정한 에너지 스펙트럼을 나타냈다. 함량은 0.1 wt%로 고정했다. [표 6]의 결과와 같이 본 발명의 제조예 3-4 (비교 실시예 2-21)로 제조한 플라스틱 신틸레이터가 동일 함량에서 비교 실시예과 비교했을 때 가장 많은 광자가 검출되는 것을 알 수 있으며, 검출 효율도 0.056%로 가장 높게 계산됐으며 본 발명의 제조예 3-10, 3-14, 3-18로 제조한 플라스틱 신틸레이터 또한 동등한 성능을 나타내는 것을 알 수 있다.

표 6

[0215]

비교 실시예	신틸레이터 종류	검출 효율 (%)
비교 실시예 2-1	비교 제조예 1	7.71×10^{-5}
비교 실시예 2-2	비교 제조예 2	0.03
비교 실시예 2-3	비교 제조예 3-1	0.019
비교 실시예 2-4	비교 제조예 3-2	0.025
비교 실시예 2-5	비교 제조예 3-3	0.016
비교 실시예 2-6	비교 제조예 3-4	0.023
비교 실시예 2-7	비교 제조예 3-5	0.032
비교 실시예 2-8	비교 제조예 3-6	0.027
비교 실시예 2-9	비교 제조예 3-7	0.03
비교 실시예 2-10	비교 제조예 3-8	0.015
비교 실시예 2-11	비교 제조예 3-9	0.028
비교 실시예 2-12	비교 제조예 4-1	0.032
비교 실시예 2-13	비교 제조예 4-2	0.035
비교 실시예 2-14	비교 제조예 4-3	0.017
비교 실시예 2-15	비교 제조예 4-4	0.028
비교 실시예 2-16	비교 제조예 4-5	0.031
비교 실시예 2-17	비교 제조예 4-6	0.025
비교 실시예 2-18	비교 제조예 4-7	0.023
비교 실시예 2-19	비교 제조예 4-8	0.017
비교 실시예 2-20	비교 제조예 4-9	0.033
비교 실시예 2-21	제조예 3-4	0.056
비교 실시예 2-22	제조예 3-10	0.051
비교 실시예 2-23	제조예 3-14	0.048
비교 실시예 2-24	제조예 3-18	0.047

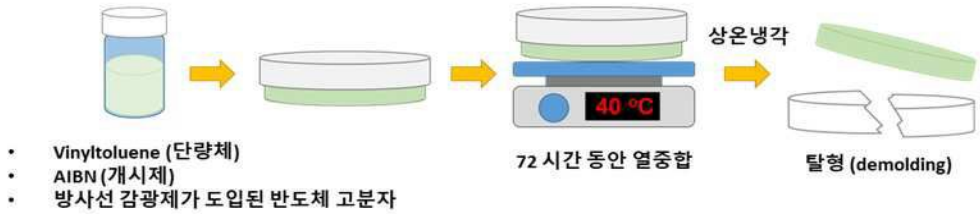
[0217] 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 설명되었으나, 이는 예시적인 것에 불과하며, 당해 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 다른 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서 본 발명의 진정한 기술적 보호범위는 첨부된 특허청구범위의 기술적 사상에 의하여 정해져야 할 것이다.

도면

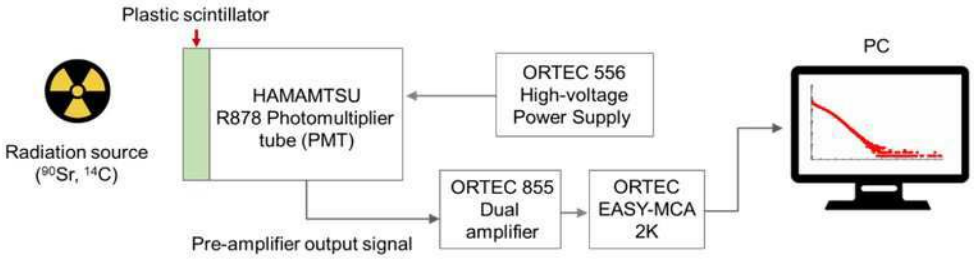
도면1



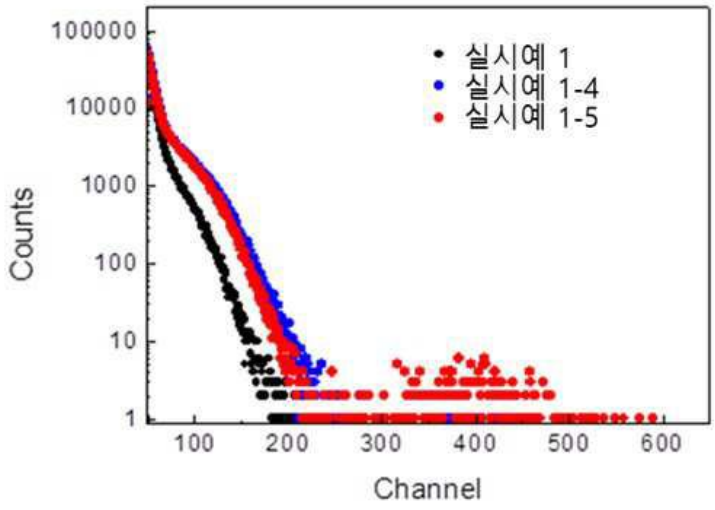
도면2


상온냉각
40 °C
72 시간 동안 열중합
탈형 (demolding)
Vinyltoluene (단량체)
AIBN (개시제)
방사선 감광제가 도입된 반도체 고분자

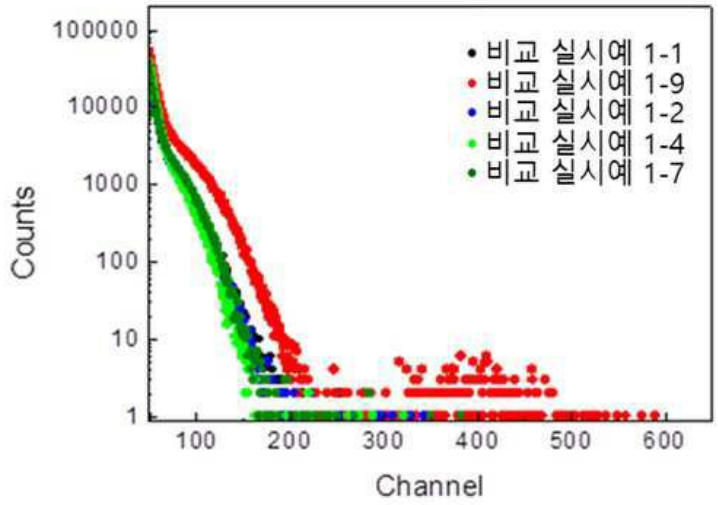
도면3


Plastic scintillator
Radiation source
(90Sr, 14C)
HAMAMTSU
R878 Photomultiplier
tube (PMT)
ORTEC 556
High-voltage
Power Supply
PC
ORTEC 855
Dual
amplifier
ORTEC
EASY-MCA
2K
Pre-amplifier output signal

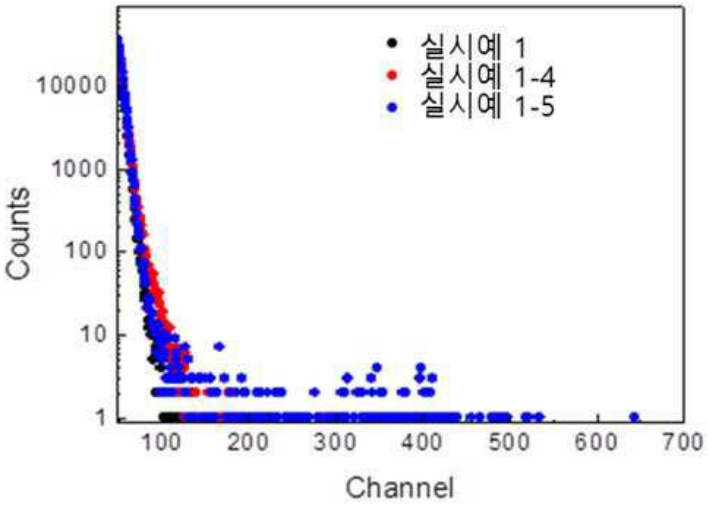
도면4


실시예 1
실시예 1-4
실시예 1-5
Counts
Channel
100000
10000
1000
100
10
1
100
200
300
400
500
600

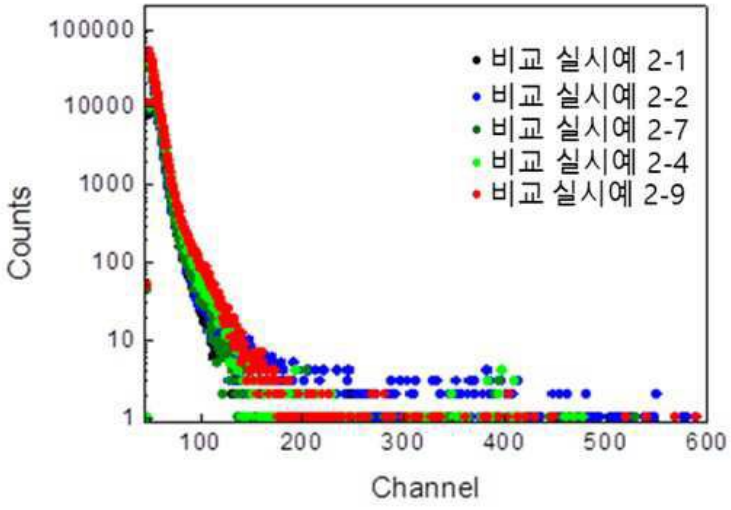
도면5


100000
10000
1000
100
10
1
Counts
100
200
300
400
500
600
Channel
비교 실시예 1-1
비교 실시예 1-9
비교 실시예 1-2
비교 실시예 1-4
비교 실시예 1-7

도면6


10000
1000
100
10
1
Counts
100
200
300
400
500
600
700
Channel
실시예 1
실시예 1-4
실시예 1-5

도면7


100000
10000
1000
100
10
1
Counts
100
200
300
400
500
600
Channel
비교 실시예 2-1
비교 실시예 2-2
비교 실시예 2-7
비교 실시예 2-4
비교 실시예 2-9