(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2018-0114330
(43) 공개일자 2018년10월18일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 31/22 (2006.01) *C08F 220/34* (2006.01)
C08F 220/38 (2006.01) *C08F 220/56* (2006.01)
C08F 220/58 (2006.01) *G01N 21/33* (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01N 31/22 (2013.01)
C08F 220/34 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-0045914
(22) 출원일자 2017년04월10일
심사청구일자 2017년04월10일

(71) 출원인
울산대학교 산학협력단
울산광역시 남구 대학로 93(무거동)
(72) 발명자
이형일
울산광역시 남구 신복로79번길 14, 103동 804호(무거동, 롯데캐슬)
(74) 대리인
특허법인다나

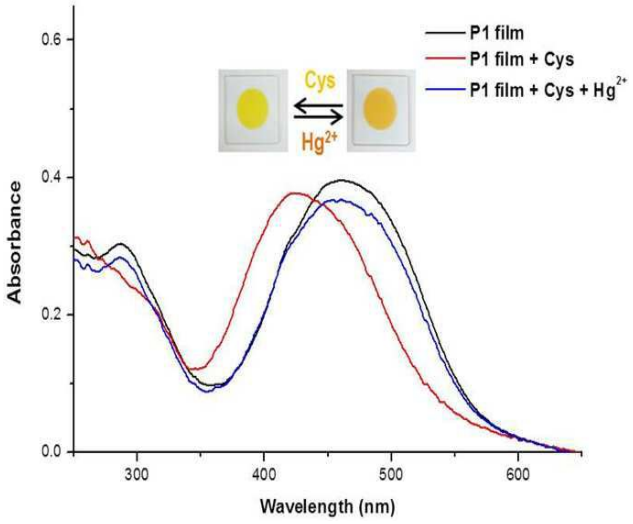
전체 청구항 수 : 총 11 항

(54) 발명의 명칭 **색센서 및 이를 이용한 황 함유 아미노산과 수은의 검출 시스템**

(57) 요 약

본 발명은 색센서 및 이를 이용한 황(S) 함유 아미노산 및/또는 수은의 검출방법에 관한 것으로, 본 발명에 따른 색센서는 제조공정이 간단하고 재사용이 가능하여 경제적일 뿐만 아니라 형태 변형이 용이하고, 수용액 상에 존재하는 시스테인(Cys)과 수은(Hg)을 연속적으로 신속하고 정확하게 검출할 수 있으므로 상기 색센서를 이용한 검출 시스템은 시스테인(Cys) 및/또는 수은(Hg)의 검출이 필요한 다양한 분야에서 유용하게 사용될 수 있다.

대 표 도 - 도6



(52) CPC특허분류
C08F 220/38 (2013.01)
C08F 220/56 (2013.01)
C08F 220/58 (2013.01)
G01N 21/33 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 2016-0331
부처명 교육부
연구관리전문기관 한국연구재단
연구사업명 기본연구지원사업
연구과제명 머큐리 이온 센서용 외부 자극 감응형 수용성 고분자 개발(3)
기 여 율 1/1
주관기관 울산대학교 산학협력단
연구기간 2016.05.01 ~ 2017.04.30

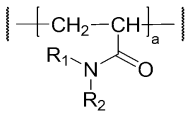
명 세 서

청구범위

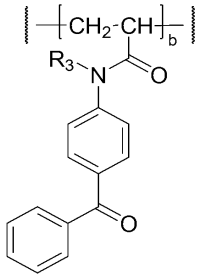
청구항 1

하기 화학식 1 내지 4로 나타내는 반복단위를 포함하는 색센서:

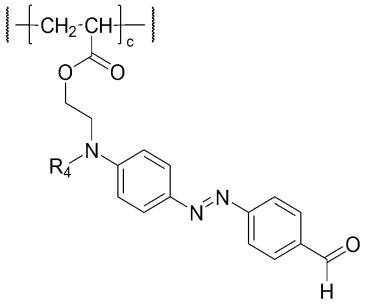
[화학식 1]



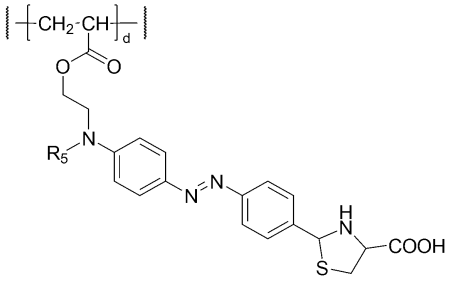
[화학식 2]



[화학식 3]



[화학식 4]



상기 화학식 1 내지 4에서,

R_1 내지 R_5는 서로 독립적으로 수소 또는 탄소수 1 내지 6의 알킬기이고,

a, b, c 및 d는 각 반복단위의 몰 비율로서 a+b+c+d=100이며,

a는 85 내지 99이고,

b는 0.5 내지 5이며,

c 및 d는 각각 0 내지 10이되 0.5≤c+d≤10이다.

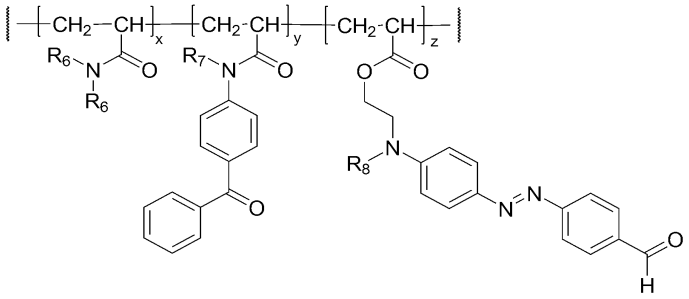
청구항 2

제1항에 있어서,

색센서가 화학식 5로 나타내는 구조를 갖는 경우,

250 내지 800㎚ 파장 범위에서 UV-vis 흡광도 측정 시 436㎚ 내지 455㎚에서 흡수 극대를 갖는 것을 특징으로 하는 색센서:

[화학식 5]



상기 화학식 5에서,

R_6 내지 R_8은 서로 독립적으로 수소, 메틸기, 에틸기 또는 프로필기이고,

x, y 및 z는 각 반복단위의 몰 비율로서, x+y+z=100이고,

x는 90 내지 97.5이며,

y는 0.5 내지 3이고,

z는 2 내지 7이다.

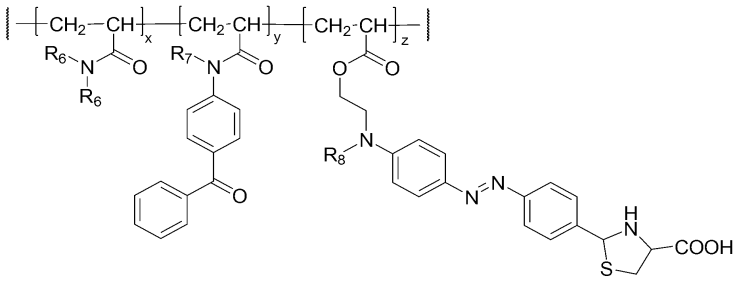
청구항 3

제1항에 있어서,

색센서가 화학식 6으로 나타내는 구조를 갖는 경우,

250 내지 800㎚ 파장 범위에서 UV-vis 흡광도 측정 시 415㎚ 내지 435㎚에서 흡수 극대를 갖는 것을 특징으로 하는 색센서:

[화학식 6]



상기 화학식 6에서,

R_6 내지 R_8은 서로 독립적으로 수소 또는 메틸기이고,

x, y 및 z는 각 반복단위의 몰 비율로서, x+y+z=100이고,

x는 90 내지 97.5이며,

y는 0.5 내지 3이고,

z는 2 내지 7이다.

청구항 4

제2항 또는 제3항에 있어서,

R_6 내지 R_8은 서로 독립적으로 수소 또는 메틸기이고,

x, y 및 z는 각 반복단위의 몰 비율로서, x+y+z=100이고,

x는 92 내지 96.5이며,

y는 0.5 내지 2이고,

z는 3 내지 6인 색센서.

청구항 5

제1항에 있어서,

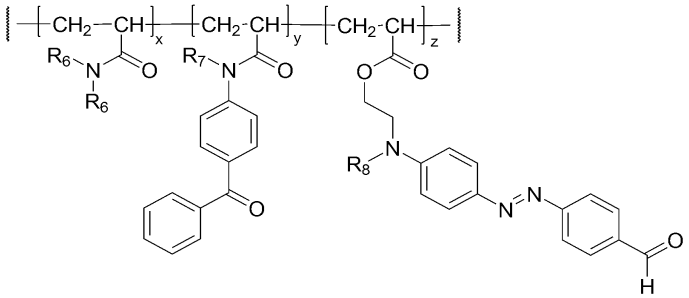
수평균 분자량이 1,000 내지 300,000이고,

분자량 분포도(PDI)가 1.4 내지 1.8인 색센서.

청구항 6

하기 화학식 5로 나타내는 색센서를 포함하는 황(S) 함유 아미노산 검출센서:

[화학식 5]



상기 화학식 5에서,

R_6 내지 R_8은 서로 독립적으로 수소, 메틸기, 에틸기 또는 프로필기이고,

x, y 및 z는 각 반복단위의 몰 비율로서, x+y+z=100이고,

x는 90 내지 97.5이며,

y는 0.5 내지 3이고,

z는 2 내지 7이다.

청구항 7

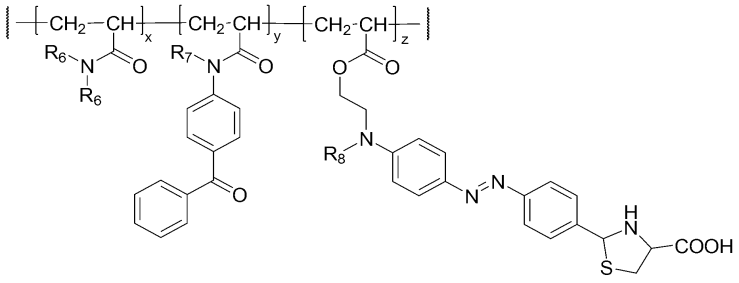
제6항에 있어서,

황(S) 함유 아미노산은 시스테인인 것을 특징으로 하는 황(S) 함유 아미노산 검출센서.

청구항 8

하기 화학식 6으로 나타내는 색센서를 포함하는 수은 검출센서:

[화학식 6]



상기 화학식 6에서,

R_6 내지 R_8은 서로 독립적으로 수소 또는 메틸기이고,

x, y 및 z는 각 반복단위의 몰 비율로서, x+y+z=100이고,

x는 92 내지 96.5이며,

y는 0.5 내지 2이고,

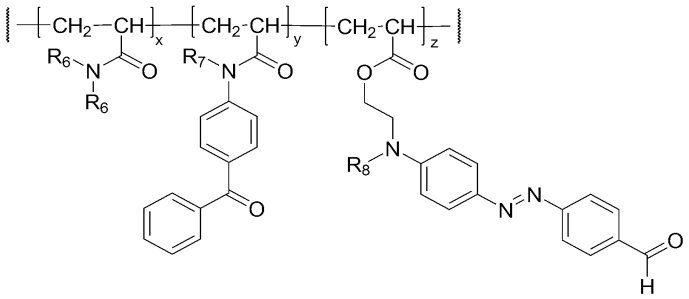
z는 3 내지 6이다.

청구항 9

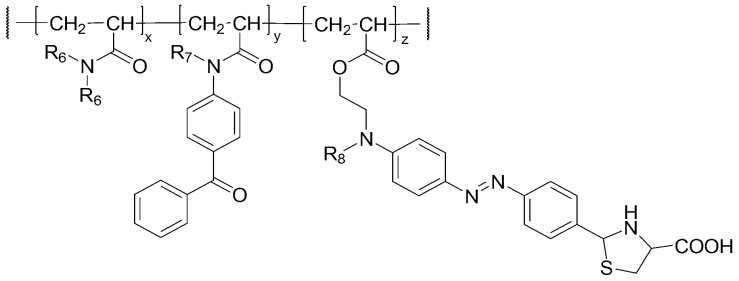
화학식 5로 나타내는 색센서와 황(S) 함유 아미노산이 접촉하여 화학식 6으로 나타내는 색센서를 얻는 단계; 및,

화학식 6으로 나타내는 색센서와 수은(Hg)이 접촉하여 화학식 5로 나타내는 색센서를 얻는 단계를 포함하는 검출 시스템:

[화학식 5]



[화학식 6]



상기 화학식 5 및 6에서,

R_6 내지 R_8은 서로 독립적으로 수소 또는 메틸기이고,

x, y 및 z는 각 반복단위의 몰 비율로서, x+y+z=100이고,

x는 92 내지 96.5이며,

y는 0.5 내지 2이고,

z는 3 내지 6이다.

청구항 10

제9항에 있어서,

황(S) 함유 아미노산은 시스테인인 것을 특징으로 하는 검출 시스템.

청구항 11

제9항에 있어서,

수은(Hg)은 용매에 용해된 이온 형태를 갖고,

수은(Hg)이 용해된 용액의 pH는 6 내지 8인 것을 특징으로 하는 검출 시스템.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 시스테인(Cys) 및 수은(Hg)을 연속적으로 검출할 수 있는 고분자 기반 색센서 및 이를 이용한 황(S) 함유 아미노산 및/또는 수은의 검출 시스템에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0003] 시스테인(cysteine, Cys)은 20개의 기본 아미노산 중 황(S)을 포함하는 물질로서 싸이올기(-SH)를 포함한다. 신체 내에서 시스테인(Cys)은 이황화 결합을 형성하여 단백질의 분자 내 가교를 이룸으로써 이차적 구조 및 기능에 영향을 미친다. 특히 손톱, 발톱, 피부, 머리칼의 구성 성분이며 콜라겐의 생성과 피부의 탄력을 유지하는데 필요하다. 이렇듯 세포나 조직의 성장에 관여하기 때문에 시스테인(Cys)의 결핍은 성장, 모발의 탈색, 무기력증, 피부병변 등을 유발할 수 있다. 또한, 싸이올기(-SH)는 산화-환원 반응을 갖기 때문에 시스테인(Cys)은 항산화 능력을 가짐으로써 인간의 대사 작용에 영향을 미치며 해독의 작용을 한다. 이러한 이유로 비필수 아미노산군에 속하지만 특정한 대사 장애 또는 황의 흡수장애를 갖는 사람에게는 필수적 요소이다.

[0004] 따라서, 시스테인(Cys)을 감지하는 기술들이 다각도로 연구되고 있다. 그러나, 종래 개발된 기술들은 수용액 상

이 아닌 유기 용매에서 시스테인(Cys)의 검출이 가능하여 실질적으로 시스테인(Cys)의 검출이 요구되는 환경조건에 적합하지 않거나, 수용액 상에서 검출이 가능하더라도 시스테인(Cys)을 검출하는 물질의 제조공정이 복잡하여 재사용이 어려우므로 경제성이 낮은 한계가 있다.

[0006] 한편, 수은(Hg)은 실온에서 액체인 유일한 금속으로 온도계, 혈압계, 형광등 등 다양한 용도로 사용되고 있으나, 이를 일정량 이상 섭취하게 되면 부끄러움을 느끼거나 신경질적으로 반응하는 등 개인의 성향이 변하거나 시력저하, 청각, 근육감각 손실, 기억력 저하가 발생할 수 있고 심한 경우 심장, 신장, 위와 장은 물론 중추신경계에도 심각한 손상을 가져온다. 이에 따라 세계보건기구(WHO)는 수은(Hg) 노출 한계량을 2 ppm으로 규정하고 있으며, 이러한 기준을 근거로 수은(Hg)에 대한 신속하고 정확하게 검출할 수 있는 기술이 요구되고 있다.

[0007] 이에, 수은(Hg)을 검출하기 위하여 금 나노 입자를 이용한 비색 센서가 최근에 개발된 바 있다. 그러나, 상기 방법들은 기본적으로 금(Au)과 같은 귀금속을 함유하는 화합물을 원료로 사용하므로 제조단가가 높아 실용화가 어려운 문제가 있다.

[0009] 따라서, 수용액 상에 존재하는 황(S) 함유 아미노산, 구체적으로는 시스테인(Cys) 및 수은(Hg)을 신속하고 정확하게 높은 선택성으로 검출할 수 있고, 제조공정이 간단하며 재사용이 가능하여 경제적인 센서의 개발이 절실히 요구되고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0011] (특허문헌 0001) 대한민국 공개특허 제2011-0136367호

(특허문헌 0002) 대한민국 공개특허 제2016-0089217호

발명의 내용

해결하려는 과제

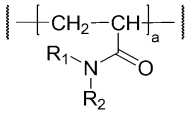
[0012] 본 발명의 목적은 제조공정이 간단하고 재사용이 가능하여 경제적일 뿐만 아니라 수용액 상에 존재하는 시스테인(Cys)과 수은(Hg)을 신속하고 정확하게 높은 선택성으로 검출할 수 있는 센서 및 이를 이용한 검출 시스템을 제공하는데 있다.

과제의 해결 수단

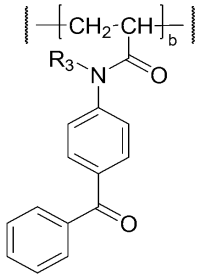
[0014] 상기 과제를 해결하기 위하여,

[0015] 본 발명은 일실시예에서, 하기 화학식 1 내지 4로 나타내는 반복단위를 포함하는 색센서를 제공한다:

[0016] [화학식 1]

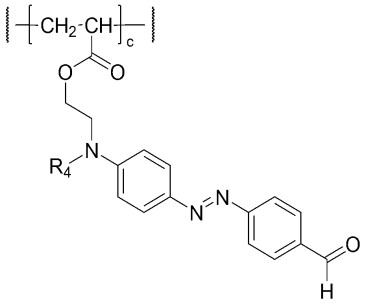
[0017] 

[0018] [화학식 2]



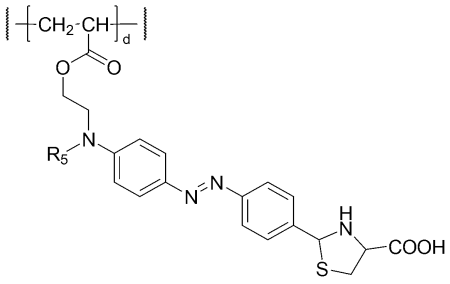
[0019]

[0020] [화학식 3]



[0021]

[0022] [화학식 4]



[0023]

[0024] 상기 화학식 1 내지 4에서,

[0025] R_1 내지 R_5는 서로 독립적으로 수소 또는 탄소수 1 내지 6의 알킬기이고,

[0026] a, b, c 및 d는 각 반복단위의 몰 비율로서 a+b+c+d=100이며,

[0027] a는 85 내지 99이고,

[0028] b는 0.5 내지 5이며,

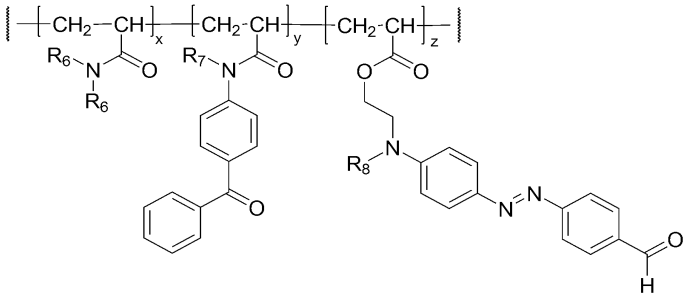
[0029] c 및 d는 각각 0 내지 10이되 $0.5 \leq c+d \leq 10$이다.

[0031] 또한, 본 발명은 일실시예에서,

[0032] 화학식 5로 나타내는 색센서와 황(S) 함유 아미노산이 접촉하여 화학식 6으로 나타내는 색센서를 얻는 황(S) 함유 아미노산 검출 단계; 및,

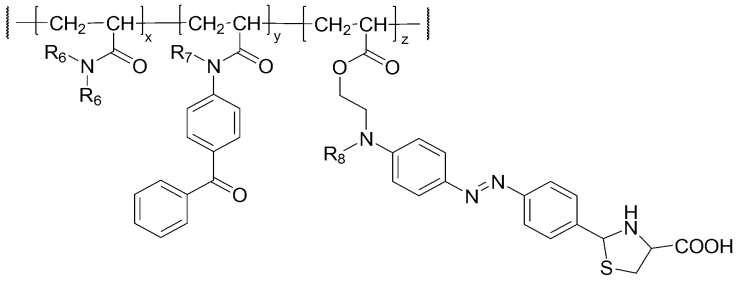
[0033] 화학식 6으로 나타내는 색센서와 수은(Hg)이 접촉하여 화학식 5로 나타내는 색센서를 얻는 수은(Hg) 검출 단계를 포함하는 검출 시스템을 제공한다:

[0034] [화학식 5]



[0035]

[0036] [화학식 6]



[0037]

[0038] 상기 화학식 5 및 6에서,

[0039] R_6 내지 R_8은 서로 독립적으로 수소 또는 메틸기이고,

[0040] x, y 및 z는 각 반복단위의 몰 비율로서, x+y+z=100이고,

[0041] x는 92 내지 96.5이며,

[0042] y는 0.5 내지 2이고,

[0043] z는 3 내지 6이다.

발명의 효과

[0045] 본 발명에 따른 색센서는 제조공정이 간단하고 재사용이 가능하여 경제적일 뿐만 아니라, 형태 변형이 용이하고, 수용액 상에 존재하는 시스테인(Cys)과 수은(Hg)을 연속적으로 신속하고 정확하게 검출할 수 있으므로 상기 색센서를 이용한 검출 시스템은 시스테인(Cys) 및/또는 수은(Hg)의 검출이 필요한 다양한 분야에서 유용하게 사용될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0047] 도 1은 화학식 5로 나타내는 색센서의 핵자기 공명(NMR) 스펙트럼을 도시한 그래프이다.

도 2는 아미노산 종류에 따른 색센서의 흡수 극대 이동도($\Delta\lambda_{max}$)를 나타낸 그래프 및 육안으로 관측된 색 변화를 나타낸 이미지이다.

도 3은 시스테인(Cys)의 농도변화에 따른 색센서의 흡수 극대 변화를 도시한 그래프이다.

도 4는 금속 종류에 따른 색센서의 흡수 극대 이동도($\Delta\lambda_{max}$)를 나타낸 그래프 및 육안으로 관측된 색 변화를 나타낸 이미지이다.

도 5는 수은(Hg)의 농도변화에 따른 색센서의 흡수 극대 변화를 도시한 그래프이다.

도 6은 실시예 1에서 얻은 색센서(P1)의 시스테인(Cys)과 수은(Hg)의 연속 검출 시 색센서의 흡수 극대(λ_{max})를

나타낸 그래프 및 육안으로 관측된 색 변화를 나타낸 이미지이다.

도 7은 시스테인(Cys)과 수은(Hg)의 연속 검출 시 색센서의 화학구조 및 흡수 극대(λ_{max}) 변화를 나타낸 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0048] 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 상세한 설명에 상세하게 설명하고자 한다.

[0049] 그러나, 이는 본 발명을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.

[0050] 본 발명에서, "포함한다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

[0051] 또한, 본 발명에서 첨부된 도면은 설명의 편의를 위하여 확대 또는 축소하여 도시된 것으로 이해되어야 한다.

[0053] 본 발명에서 "몰부"란, 색센서 전체에 포함된 반복단위의 몰 비율을 나타내는 말로서, 색센서 전체를 100몰에 대한 각 반복단위의 몰수/몰 비율을 나타낼 경우 "몰%"와 동일할 수 있다.

[0055] 본 발명은 색센서 및 이를 이용한 황(S) 함유 아미노산 및/또는 수은(Hg) 검출 시스템에 관한 것이다.

[0056] 시스테인(cysteine, Cys)은 20개의 기본 아미노산 중 황(S)을 포함하는 물질로서 세포나 조직의 성장에 관여하기 때문에 시스테인(Cys)의 결핍은 성장, 모발의 탈색, 무기력증, 피부병변 등을 유발할 수 있다. 시스테인(Cys)에 포함된 싸이올기(-SH)는 산화-환원 반응을 갖기 때문에 시스테인(Cys)은 항산화 능력을 가짐으로써 인간의 대사 작용에 영향을 미치며 해독의 작용을 하므로 시스테인(Cys)의 존재 여부를 신속하고 정확하게 감지하는 기술이 요구되고 있다.

[0057] 또한, 수은(Hg)은 실온에서 액체인 유일한 금속으로 온도계, 혈압계, 형광등 등 다양한 용도로 사용되고 있으나, 이를 일정량 이상 섭취하게 되면 인체에 매우 유해하므로 상술한 시스테인(Cys)과 마찬가지로 높은 선택성으로 수은(Hg)을 빠르게 검출할 수 있는 기술의 개발이 필요로 하고 있다.

[0058] 이에, 본 발명은 특정 반복단위를 포함하는 색센서 및 이를 이용하여 황(S) 함유 아미노산 및/또는 수은(Hg)을 검출하는 검출 시스템을 제공한다.

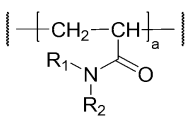
[0059] 본 발명에 따른 색센서는 특정 반복단위를 포함하여 제조공정이 간단하고 재사용이 가능하여 경제적일 뿐만 아니라 형태 변형이 용이하고, 수용액 상에 존재하는 시스테인(Cys)과 수은(Hg)을 연속적으로 신속하고 정확하게 검출할 수 있으므로 상기 색센서를 이용한 검출 시스템은 시스테인(Cys) 및/또는 수은(Hg)의 검출이 필요한 다양한 분야에서 유용하게 사용될 수 있다.

[0061] 이하, 본 발명을 상세히 설명한다.

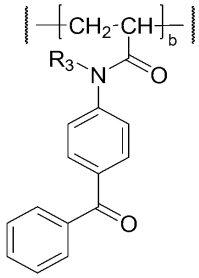
[0063] 본 발명은 일실시예에서,

[0064] 하기 화학식 1 내지 4로 나타내는 반복단위를 포함하는 색센서를 제공한다:

[0065] [화학식 1]

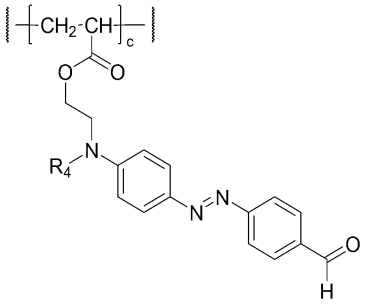
[0066] 

[0067] [화학식 2]



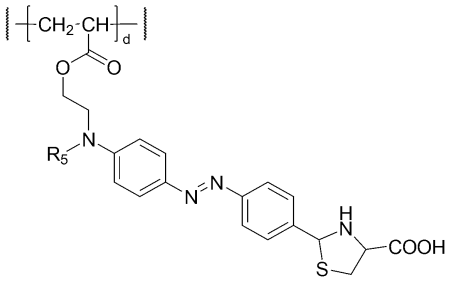
[0068]

[0069] [화학식 3]



[0070]

[0071] [화학식 4]



[0072]

[0073] 상기 화학식 1 내지 4에서,

[0074] R_1 내지 R_5는 서로 독립적으로 수소 또는 탄소수 1 내지 6의 알킬기이고,

[0075] a, b, c 및 d는 각 반복단위의 몰 비율로서 a+b+c+d=100이며,

[0076] a는 85 내지 99이고,

[0077] b는 0.5 내지 5이며,

[0078] c 및 d는 각각 0 내지 10이되 $0.5 \leq c+d \leq 10$이다.

[0080] 구체적으로, 상기 화학식 1 내지 4에서,

[0081] R_1 내지 R_5는 서로 독립적으로 수소, 메틸기, 에틸기 또는 프로필기이고,

[0082] a, b, c 및 d는 각 반복단위의 몰 비율로서 a+b+c+d=100이며,

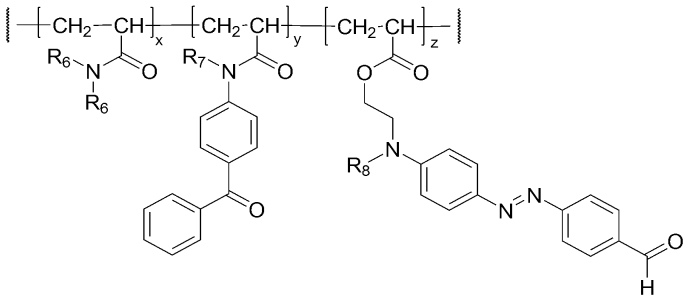
[0083] a는 90 내지 97.5이고,

[0084] b는 0.5 내지 3이며,

[0085] c 및 d는 각각 0 내지 7이되 $2 \leq c+d \leq 7$일 수 있다.

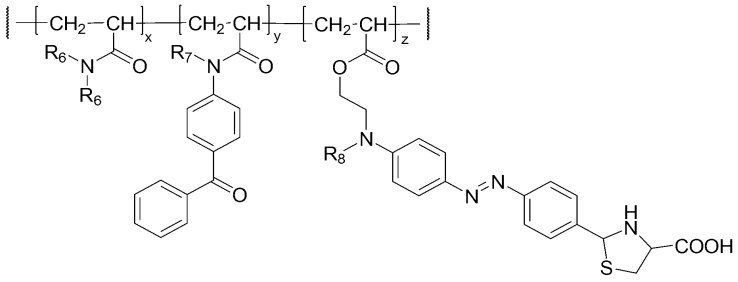
[0087] 하나의 예로서, 본 발명에 따른 색센서는 하기 화학식 5 또는 화학식 6으로 나타내는 구조를 가질 수 있다:

[0088] [화학식 5]



[0089]

[0090] [화학식 6]



[0091]

[0092] 상기 화학식 5 및 6에서,

[0093] R_6 내지 R_8은 서로 독립적으로 수소 또는 메틸기이고,

[0094] x, y 및 z는 각 반복단위의 몰 비율로서, x+y+z=100이고,

[0095] x는 90 내지 97.5이며,

[0096] y는 0.5 내지 3이고,

[0097] z는 2 내지 7이다.

[0099] 본 발명에 따른 색센서는 화학식 1 내지 4로 나타내는 반복단위를 포함하여 수환경에 존재하는 황(S) 함유 아미노산 및/또는 수은(Hg)을 신속하고 정확하게 검출할 수 있고, 용액상 또는 고체상으로 형태 변형이 가능하다.

[0100] 구체적으로, 색센서는 친수성을 갖는 화학식 1로 나타내는 반복단위를 85 몰부 이상 포함하여 수환경에서 용이하게 황(S) 함유 아미노산 및/또는 수은(Hg)을 검출할 수 있다.

[0101] 또한, 상기 색센서는 벤조페논기(benzophenone group)를 갖는 화학식 2의 반복단위를 포함하여 UV 경화를 통한 표면 앵커링(surface anchoring), 즉 기재 상 코팅이 가능하므로 물, 에탄올 등의 용매에 용해된 용액상은 물론 기재 상에 UV 경화된 필름이나 박막과 같은 고체상으로 형태 변형이 용이하다. 하나의 예로서, 본 발명의 색센서를 테트라하이드로퓨란(THF)에 용해시키고 석영 슬라이드에 스핀 코팅한 후 스핀 코팅된 일부분에만 UV 조사(365±2㎚)를 수행할 경우 UV 조사가 수행된 부분은 색센서의 경화가 수행되어 석영 슬라이드 표면에 필름 형태로 고정되나 UV 조사가 이뤄지지 않은 부분은 물 등의 용매에 용해되는 것으로 확인할 수 있다.

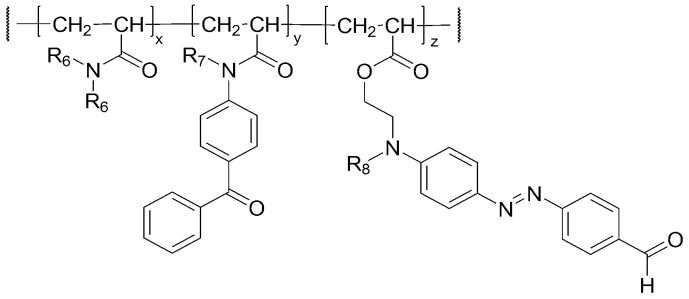
[0102] 이와 더불어, 상기 색센서는 발색단인 아조기(azo group)와 아조기 말단에 황(S) 함유 아미노산 또는 수은(Hg)과 화학 반응하는 관능기를 포함하는 화학식 3 및 4로 나타내는 반복단위를 일정 몰 비율로 포함하여 황(S) 함유 아미노산 및/또는 수은(Hg)을 선택적으로 검출할 수 있다. 예를 들어, 상기 색센서는 발색단인 아조기 말단에 알데하이드기(-CHO기)를 갖는 화학식 3으로 나타내는 반복단위를 포함하는 경우, 상기 알데하이드기(-CHO기)와 황(S) 함유 아미노산이 선택적으로 반응하여 황(S) 함유 아미노산을 검출할 수 있고, 발색단인 아조기 말단에 티아졸리딜기(thiazolidyl group)를 갖는 화학식 4로 나타내는 반복단위를 포함하는 경우, 상기 티아졸리딜기(thiazolidyl group)와 수은(Hg)이 선택적으로 반응하여 수은(Hg)을 선택적으로 검출할 수 있다. 여기서, 상기 티아졸리딜기(thiazolidyl group)는 화학식 3의 반복단위에 포함된 아조기 말단에 알데하이드기(-CHO기)와

시스테인(Cys)이 반응하여 형성될 수 있다.

[0103] 아울러, 상기 색센서는 황(S) 함유 아미노산 및/또는 수은(Hg)을 신속하고 정확하게 검출하기 위하여 화학식 3 및 4로 나타내는 반복단위는 색센서 전체 100 몰부에 대하여 10 몰부로 포함할 수 있고, 화학식 3 및 4로 나타내는 반복단위 중 어느 하나를 높은 비율로 포함할 수 있다. 예컨대, 상기 색센서는 전체 100 몰부 중 화학식 3으로 나타내는 반복단위 또는 화학식 4로 나타내는 반복단위를 단독으로 10 몰부 이하로 포함할 수 있고, 경우에 따라서는 전체 100 몰부 중 화학식 3 및 4로 나타내는 반복단위를 10 몰부 이하로 포함하되 상기 반복단위 중 어느 하나의 몰수가 나머지 하나의 몰수의 2배 이상으로 포함할 수 있다.

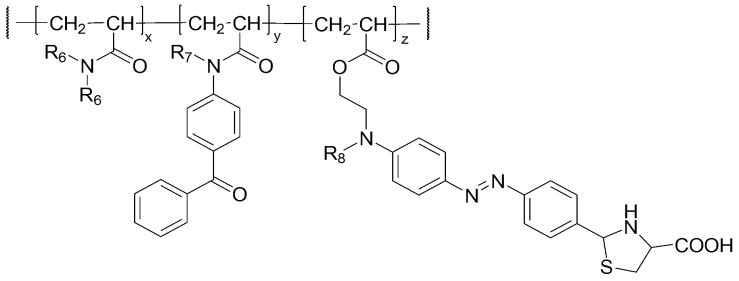
[0104] 하나의 예로서, 본 발명에 따른 색센서는 화학식 5로 나타내는 구조를 가질 경우, 250 내지 800㎚ 파장 범위에서 UV-vis 흡광도 측정 시 436㎚ 내지 455㎚에서 흡수 극대를 가질 수 있고, 화학식 6으로 나타내는 구조를 가질 경우 415㎚ 내지 435㎚에서 흡수 극대를 가질 수 있다:

[0105] [화학식 5]



[0106]

[0107] [화학식 6]



[0108]

[0109] 상기 화학식 5 및 6에서,

[0110] R_6 내지 R_8은 서로 독립적으로 수소, 메틸기, 에틸기 또는 프로필기이고,

[0111] x, y 및 z는 각 반복단위의 몰 비율로서, x+y+z=100이고,

[0112] x는 90 내지 97.5이며,

[0113] y는 0.5 내지 3이고,

[0114] z는 2 내지 7이다.

[0116] 구체적으로, 상기 화학식 5 및 6에서,

[0117] R_6 내지 R_8은 서로 독립적으로 수소 또는 메틸기이고,

[0118] x, y 및 z는 각 반복단위의 몰 비율로서, x+y+z=100이고,

[0119] x는 92 내지 96.5이며,

[0120] y는 0.5 내지 2이고,

[0121] z는 3 내지 6일 수 있다.

[0123] 본 발명에 따른 색센서는 반복단위에 포함된 아조기(azo group)를 발색단으로 이용하여 아조기 말단에 도입된 관능기의 종류에 따라 각기 다른 파장 영역에서 UV-Vis 흡수 극대를 가질 수 있다. 예를 들어, 색센서가 아조기 말단에 알데하이드기(-CHO기)를 포함하는 화학식 5의 구조를 가질 경우 색센서는 주황색(orange color)을 나타내고, 436nm 내지 455nm에서 흡수 극대를 가질 수 있다. 또한, 색센서가 아조기 말단에 티아졸리딜기(thiazolidyl group)를 포함하는 화학식 6의 구조를 가질 경우 색센서는 황색(yellow color)을 나타내고, 415 nm 내지 435nm에서 흡수 극대를 가질 수 있다.

[0125] 한편, 본 발명에 따른 상기 색센서의 수평균 분자량은 특별히 제한되는 것은 아니나 1,000 내지 300,000일 수 있다. 보다 구체적으로 색센서의 수평균 분자량은 1,000 내지 200,000; 1,000 내지 100,000; 1,000 내지 50,000; 50,000 내지 150,000; 100,000 내지 200,000; 200,000 내지 300,000; 5,000 내지 50,000; 10,000 내지 50,000; 20,000 내지 40,000; 30,000 내지 40,000; 30,000 내지 35,000; 35,000 내지 45,000; 37,000 내지 42,000; 38,000 내지 41,000; 31,000 내지 34,000, 32,000 내지 35,000; 33,000 내지 35,000; 또는 39,000 내지 40,000일 수 있다.

[0126] 또한, 상기 색센서의 분자량 분산도(Mw/Mn, polymer dispersity index, PDI)가 1.4 내지 1.8 일 수 있고, 구체적으로는 1.5 내지 1.7, 1.53 내지 1.67, 1.55 내지 1.65 또는 1.58 내지 1.62일 수 있다.

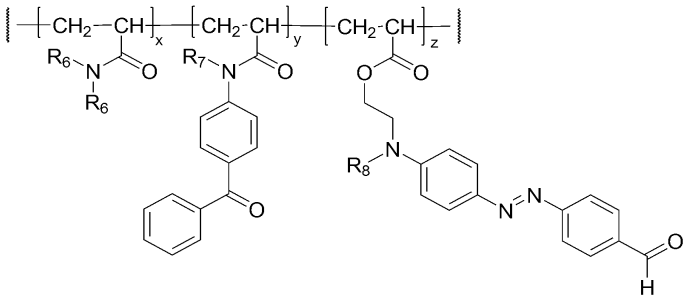
[0127] 본 발명에 따른 색센서는 수평균 분자량과 분자량 분산도를 상기 범위로 조절함으로써 색센서의 형태 변형 시 색센서의 고형분 및 점도 제어가 용이하므로 공정성을 개선할 수 있다.

[0129] 이와 더불어, 본 발명은 일실시예에서, 상술된 색센서를 황(S) 함유 아미노산 검출센서 및 수은 검출센서를 제공한다.

[0130] 본 발명에 따른 황(S) 함유 아미노산 검출센서 및 수은 검출센서는 화학식 1 내지 4로 나타내는 반복단위를 포함하여 용액상 또는 고체상 등으로 형태 변형이 용이하고, 수환경에서 황(S) 함유 아미노산 또는 수은(Hg)을 빠르고 정확하게 검출할 수 있다.

[0131] 하나의 예로서, 본 발명은 하기 화학식 5로 나타내는 색센서를 포함한 황(S) 함유 아미노산 검출센서를 제공한다:

[0132] [화학식 5]



[0133]

[0134] 상기 화학식 5에서,

[0135] R_6 내지 R_8은 서로 독립적으로 수소, 메틸기, 에틸기 또는 프로필기이고,

[0136] x, y 및 z는 각 반복단위의 몰 비율로서, x+y+z=100이고,

[0137] x는 90 내지 97.5이며,

[0138] y는 0.5 내지 3이고,

[0139] z는 2 내지 7이다.

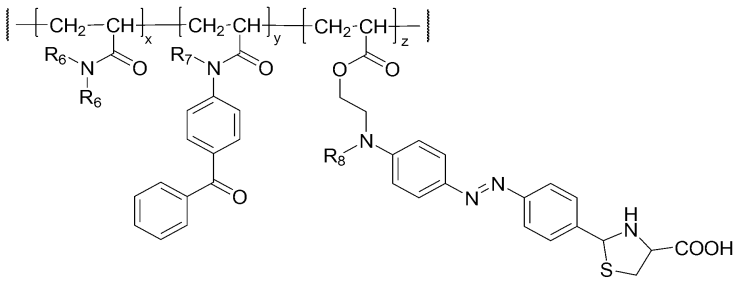
[0140] 상기 황(S) 함유 아미노산 검출센서는 아조기 말단에 알데하이드기(-CHO기)를 포함하는 화학식 5의 색센서를 포함함으로써 황(S) 함유 아미노산을 용이하게 검출할 수 있고, 황(S) 함유 아미노산과 색센서의 알데하이드기(-CHO기)가 반응하는 경우 색센서의 색상이 주황색(orange color)에서 황색(yellow color)으로 변색되고, UV-Vis

흡수 극대가 436㎚ 내지 455㎚에서 415㎚ 내지 435㎚로 청색 이동(blue-shift)된다.

[0141] 이때, 상기 황(S) 함유 아미노산은 황(S)을 포함하는 아미노산이라면 특별히 제한되는 것은 아니나, 구체적으로는 시스테인(cysteine, Cys)일 수 있다.

[0143] 다른 하나의 예로서, 본 발명은 하기 화학식 6으로 나타내는 색센서를 포함한 수은 검출센서를 제공한다:

[0144] [화학식 6]



[0145]

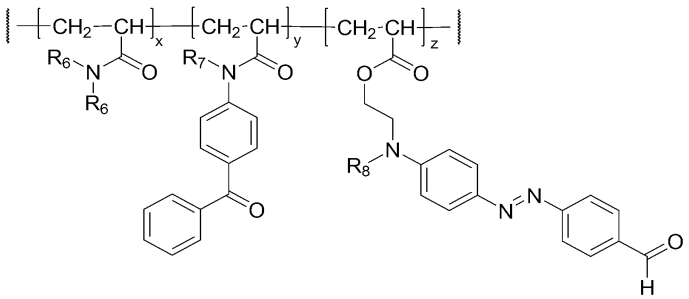
[0146] 상기 수은(Hg) 검출센서는 아조기 말단에 티아졸리딜기(thiazolidyl group)를 포함하는 화학식 6의 색센서를 포함함으로써 수은(Hg)을 용이하게 검출할 수 있고, 수은(Hg)과 색센서의 티아졸리딜기(thiazolidyl group)가 반응하는 경우 색센서의 색상이 황색(yellow color)에서 주황색(orange color)으로 변색되고, UV-Vis 흡수 극대가 415㎚ 내지 435㎚에서 436㎚ 내지 455㎚로 적색 이동(red-shift)된다.

[0148] 나아가, 본 발명은 일실시예에서,

[0149] 화학식 5로 나타내는 색센서와 황(S) 함유 아미노산이 접촉하여 화학식 6으로 나타내는 색센서를 얻는 단계; 및,

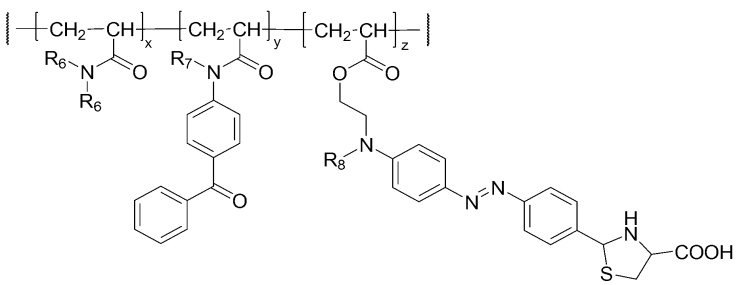
[0150] 화학식 6으로 나타내는 색센서와 수은(Hg)이 접촉하여 화학식 5로 나타내는 색센서를 얻는 단계를 포함하는 검출 시스템을 제공한다:

[0151] [화학식 5]



[0152]

[0153] [화학식 6]



[0154]

[0155] 상기 화학식 5 및 6에서,

[0156] R_6 내지 R_8은 서로 독립적으로 수소 또는 메틸기이고,

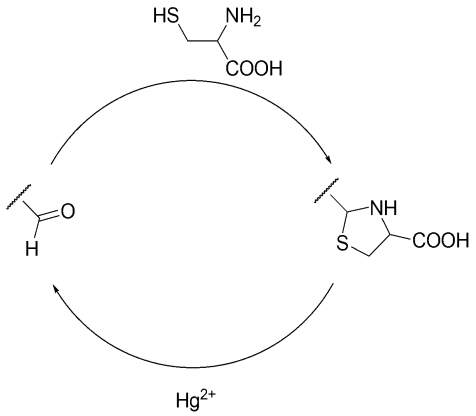
[0157] x, y 및 z는 각 반복단위의 몰 비율로서, x+y+z=100이고,

[0158] x는 92 내지 96.5이며,

[0159] y는 0.5 내지 2이고,

[0160] z는 3 내지 6이다.

[0162] 본 발명에 따른 검출 시스템은 화학식 5 및 6으로 나타내는 색센서의 아조기 말단에 도입된 알데하이드기(-CHO기) 및 티아졸리딜기(thiazolidyl group)가 시스테인(Cys) 및 수은(Hg)의 접촉 시 가역적으로 반응하여 하기에 나타낸 바와 같이 화학식 5에서 화학식 6으로, 또는 화학식 6에서 화학식 5로 화학구조를 변환할 수 있다:

[0163] 

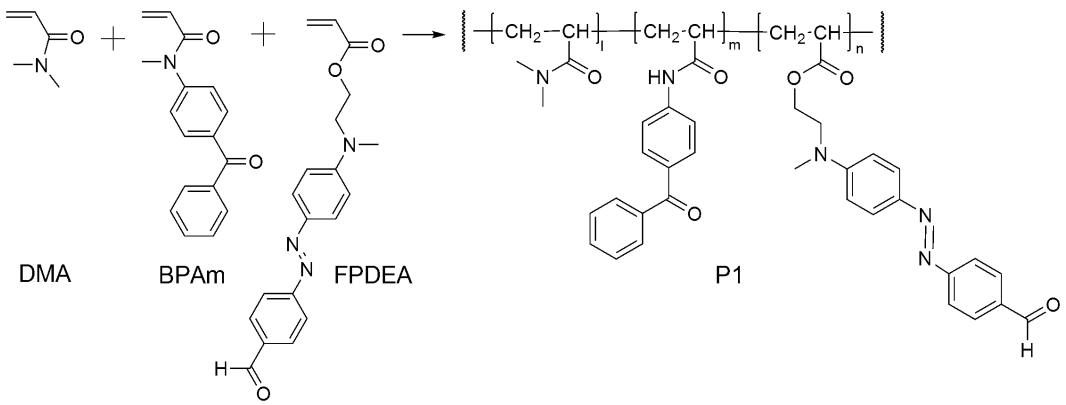
[0164] 이에 따라, 상기 검출 시스템은 색센서의 재사용이 가능하므로 경제적일 뿐만 아니라 친환경적인 이점이 있다.

[0165] 여기서, 상기 수은(Hg)은 그 상태가 제한되는 것은 아니나 물, 에탄올, 등의 용매에 용해된 이온 형태일 수 있고, 수은 이온(Hg^{2+})이 용해된 용액은 pH가 6 내지 8, 구체적으로는 6.5 내지 8, 7 내지 8 또는 7.2 내지 7.6일 수 있다. 본 발명의 검출 시스템은 pH 범위가 상기와 같은 범위로 조절된 수은 이온(Hg^{2+}) 용액을 대상으로 수은 검출 시 검출 효율을 극대화할 수있다.

[0167] 이하, 본 발명을 실시예 및 실험예에 의해 보다 상세히 설명한다.

[0168] 단, 하기 실시예 및 실험예는 본 발명을 예시하는 것일 뿐, 본 발명의 내용이 하기 실시예 및 실험예에 한정되는 것은 아니다.

[0170] **실시예 1.**

[0171] 

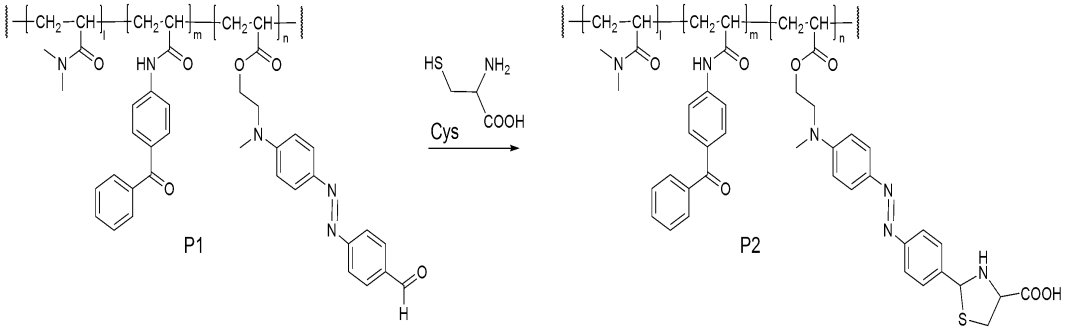
[0172] 플라스크에 N,N-디메틸포름아마이드(N,N-dimethylformamide, DMF, 4㎖)를 주입하고, 디메틸아크릴아마이드(dimethylacryl amide, **DMA**, 1.655㎖, 16.19 mmol), N-(4-벤조일페닐)아크릴아마이드(N-(4-

benzoylphenyl)acrylamide, **BPAm**, 42.83mg, 0.17 mmol), (E)-2-((4-((4-포밀페닐)디아제닐)페닐)(메틸)아미노)에틸 아크릴레이트 ((E)-2-((4-((4-formylphenyl)diazenyl)phenyl)(methyl)amino)ethylacrylate, **FPDEA**, 0.23g, 0.682 mmol) 및 개시제인 AIBN(2.79mg, 0.0178 mmol)을 넣어 용해시킨 후 30분간 아르곤 가스로 전환하고 70℃에서 12시간 동안 유리 라디칼 중합반응(free radical polymerization, FRP)을 수행하였다. 그런 다음, 디에틸에테르(diethyl ether)를 이용하여 반응물로부터 중합체를 침전시키고, 여과한 후 여과물을 건조시켜 주황색(orange color)의 색센서 **P1** (l:m:n=95:1:4)을 제조하였다.

[0173] ^{1}H NMR (300 MHz $CDCl_3$, d in ppm): 10.04 (1H, s, CHO), 8.00-6.70 (17H, m, Ar-H), 4.20 (2H, m, O-CH_2-), 3.71 (2H, m, N-CH_2), 3.25-2.25 (10H, m, N-CH_3, N-$(CH_3)_2$ 및 C=O-NH-).

[0174] GPC 측정 결과: Mn = 39300, 및 분자량 분포(PDI) = 1.60.

[0176] **실시예 2.**



[0177]

[0178] 실시예 1에서 얻은 중합체(**P1**)를 분자 내 알데하이드기의 몰분율이 2 mM(알데하이드기 mol수: 2.0×10^{-6} mol)이 되도록 HEPES 완충용액(pH 7.4±0.1, 10㎖)에 용해시키고, 중합체(**P1**)가 용해된 완충용액에 농도가 2.6mM이 되도록 시스테인(Cys)을 첨가하여 황색(yellow color)의 색센서 **P2**(l:m:n=95:1:4)를 제조하였다.

[0180] **실험예 1.**

[0181] 본 발명에 따른 색센서의 황(S) 함유 아미노산에 대한 검출능을 평가하기 위하여 하기와 같은 실험을 수행하였다.

[0183] **가) 아미노산에 대한 선택성 평가**

[0184] 실시예 1에서 얻은 색센서(P1)를 분자 내 알데하이드기의 몰분율이 2 mM(알데하이드기 mol수: 2.0×10^{-7} mol)이 되도록 HEPES 완충용액(pH 7.4±0.1, 1㎖)에 용해시키고, UV-Vis 분광기를 이용하여 250㎚ 내지 650㎚ 파장 범위에서의 흡광도를 측정하였다. 그 후, 색센서(P1)가 용해된 완충용액에 아미노산의 농도가 1.0 mM이 되도록 첨가하고, 아미노산이 첨가된 각 용액을 대상으로 250㎚ 내지 650㎚ 파장 범위에서의 흡광도를 재측정하였다. 이때, 완충용액에 첨가된 아미노산은 시스테인(Cys), 알라닌(Ala), 글루탐산(Glu), 글라이신(Gly), 히스티딘(His), 메티오닌(Met), 세린(Ser), 트레오닌(Thr), 페닐알라닌(Phe) 또는 발린(Val)을 각각 2.6mM의 농도로 용해시킨 용액 형태로 첨가되었으며, 아미노산 첨가 전후의 흡수 극대를 비교하여 아미노산 첨가 시 색센서의 흡수 극대 이동 정도($\Delta\lambda_{max}$)를 도출하였다. 그 결과는 하기 표 1 및 도 2에 나타내었다.

표 1

[0185]

	$\Delta\lambda_{max}$
시스테인(Cys)	20±1㎚
알라닌(Ala)	0±0.5㎚
글루탐산(Glu)	2±0.5㎚

글라이신(Gly)	2±0.5nm
히스티딘(His)	0±0.5nm
메티오닌(Met)	6±0.5nm
세린(Ser)	4±0.5nm
트레오닌(Thr)	2±0.5nm
페닐알라닌(Phe)	2±0.5nm
발린(Val)	2±0.5nm

[0186] 표 1 및 도 2에 나타낸 바와 같이 본 발명에 따른 색센서는 아미노산 중 황(S)을 함유하는 아미노산, 그 중에서도 시스테인(Cys)에 대한 검출능이 우수한 것을 알 수 있다.

[0187] 구체적으로, 실시예 1에서 얻은 색센서(P1)는 아미노산 중 황(S)을 함유하는 아미노산인 시스테인(Cys) 및 메티오닌(Met)에 대한 높은 반응성을 나타내어 250nm 내지 650nm 파장 범위에 존재하는 흡수 극대의 이동값($\Delta\lambda$ max)이 5nm 이상인 것으로 나타났으며, 이 중 시스테인(Cys)의 경우 흡수 극대의 이동 정도가 약 20±1nm로 육안으로 용액의 색상이 주황색(orange color)에서 황색(yellow color)으로 변색되는 것이 확인되었다.

[0188] 이러한 결과로부터 본 발명의 색센서는 황(S)을 함유하는 아미노산, 그 중에서도 시스테인(Cys)을 선택적으로 검출할 수 있음을 알 수 있다.

[0190] **나) 시스테인(Cys) 농도에 따른 검출능 평가**

[0191] 실시예 1에서 얻은 색센서(P1)를 분자 내 알데하이드기의 몰분율이 2 mM(알데하이드기 mol수: 2.0×10^{-7} mol)이 되도록 HEPES 완충용액(pH 7.4±0.1, 1mℓ)에 용해시키고, UV-Vis 분광기를 이용하여 250nm 내지 650nm 파장 범위에서의 흡광도를 측정하였다. 그 후, 색센서(P1)이 용해된 완충용액에 농도가 0.2 mM 내지 2.6 mM이 되도록 시스테인(Cys)을 첨가하였고, 시스테인(Cys)이 첨가된 각 용액을 대상으로 250nm 내지 650nm 파장 범위에서의 흡광도를 재측정하였다. 측정된 결과는 도 3에 나타내었다.

[0192] 도 3을 살펴보면, 본 발명에 따른 색센서는 시스테인(Cys)과 반응하여 흡수 극대가 낮은 파장 영역으로 이동하고, 이러한 양상은 시스테인(Cys)의 농도가 증가하는 것을 알 수 있다. 구체적으로, 실시예 1에서 얻은 색센서(P1)는 용액 상에서 시스테인(Cys) 첨가 이전에는 446±2nm의 파장 범위에서 흡수 극대를 가지나 시스테인(Cys)이 첨가되면 흡수 극대가 낮은 파장 영역으로 이동하여 2.6mM 농도의 시스테인(Cys)을 첨가하는 경우 426±2nm의 파장 범위에서 흡수 극대를 갖는 것($\Delta\lambda_{max}$=20±4nm)으로 나타났다.

[0193] 이러한 결과로부터 본 발명에 따른 색센서는 황(S)을 함유하는 아미노산과 반응하여 250nm 내지 650nm 파장 범위에서 흡수 극대가 청색이동(blue-shift)하고 이러한 경향은 색센서와 반응하는 황(S) 함유 아미노산의 농도, 즉 색센서와 접촉하는 아미노산의 접촉량이 증가할수록 증가하는 것을 의미한다.

[0195] **실험예 2.**

[0196] 본 발명에 따른 색센서의 수은(Hg)에 대한 반응성을 평가하기 위하여 하기와 같은 실험을 수행하였다.

[0198] **가) 금속에 대한 선택성 평가**

[0199] 실시예 2에서 얻은 색센서(P2)를 분자 내 티아졸리딜기의 몰분율이 2 mM(티아졸리딜기 mol수: 2.0×10^{-6} mol)이 되도록 HEPES 완충용액(pH 7.4±0.1, 10mℓ)에 용해시키고, UV-Vis 분광기를 이용하여 250nm 내지 650nm 파장 범위에서의 흡광도를 측정하였다. 그 후, 색센서(P2)가 용해된 완충용액에 용해 시 산화수가 2가인 전이금속 이온을 형성하는 질화금속 화합물을 농도가 1.0 mM이 되도록 첨가하고 질화금속 화합물이 첨가된 각 용액을 대상으로 250nm 내지 650nm 파장 범위에서의 흡광도를 재측정하였다. 이때, 완충용액에 첨가된 질화금속 화합물은 질화수은($Hg(NO_3)_2$), 질화바륨($Ba(NO_3)_2$), 질화칼슘($Ca(NO_3)_2$), 질화코발트($Co(NO_3)_2$), 질화구리($Cu(NO_3)_2$), 질화철($Fe(NO_3)_2$), 질화마그네슘($Mg(NO_3)_2$), 질화니켈($Ni(NO_3)_2$), 질화주석($Sn(NO_3)_2$), 또는 질화아연($Zn(NO_3)_2$)을 각각 200 μM의 농도로 용해시킨 용액 형태로 첨가되었으며, 질화금속 화합물 첨가 전후의 흡수 극대를 비교하여 질

화금속 화합물 첨가 시 색센서의 흡수 극대 이동 정도($\Delta\lambda_{max}$)를 도출하였다. 그 결과는 하기 표 2 및 도 4에 나타내었다.

[0200]

표 2

	$\Delta\lambda_{max}$
수은 이온(Hg^{2+})	20±1nm
바륨 이온(Ba^{2+})	2±0.1nm
칼슘 이온(Ca^{2+})	0±0.1nm
코발트 이온(Co^{2+})	2±0.1nm
구리 이온(Cu^{2+})	2±0.1nm
철 이온(Fe^{2+})	2±0.1nm
마그네슘 이온(Mg^{2+})	0±0.1nm
니켈 이온(Ni^{2+})	0±0.1nm
주석 이온(Sn^{2+})	4±0.2nm
아연 이온(Zn^{2+})	4±0.2nm

[0201] 표 2 및 도 4에 나타낸 바와 같이 본 발명에 따른 색센서는 전이금속, 그 중에서도 수은(Hg)에 대한 검출능이 우수한 것을 알 수 있다.

[0202] 구체적으로, 실시예 2에서 얻은 색센서(P2)는 발색단인 아조기 말단에 황(S)을 포함하는 고리형 알킬 치환기를 포함하여 수은 이온(Hg^{2+})에 대한 높은 반응성을 나타내어 250nm 내지 650nm 파장 범위에 존재하는 흡수 극대의 이동값($\Delta\lambda$max)이 약 20±1nm로 육안으로 용액의 색상이 황색(yellow color)에서 주황색(orange color)으로 변색되는 것이 확인되었다.

[0203] 이러한 결과로부터 본 발명의 색센서는 발색단인 아조기의 말단에 황(S)을 포함하는 고리형 알킬 치환기(예컨대, 티아졸리딜기(thiazolidyl group) 등)를 포함하는 경우 전이금속, 그 중에서도 2가 이온 형태의 수은(Hg^{2+})을 높은 선택성으로 반응하므로 이를 이용하여 수은 이온(Hg^{2+})의 검출이 가능하고, 이에 따라 아조기 말단의 황(S)을 포함하는 고리형 알킬 치환기는 개환 및 분해가 유도되어 아조기 말단에 알데하이드기(-CHO기)를 포함하는 화학식 5의 화학구조를 갖는 색센서를 회수할 수 있음을 알 수 있다.

[0205] **나) 수은 이온(Hg^{2+}) 농도에 따른 검출능 평가**

[0206] 실시예 2에서 얻은 색센서(P2)를 분자 내 티아졸리딜기의 몰분율이 2 mM(티아졸리딜기 mol수: 2.0×10^{-7} mol)이 되도록 HEPES 완충용액(pH 7.4±0.1, 1mℓ)에 용해시키고, UV-Vis 분광기를 이용하여 250nm 내지 650nm 파장 범위에서의 흡광도를 측정하였다. 그 후, 색센서(P1)이 용해된 완충용액(0.5mℓ)에 농도가 0.2 mM 내지 2.6 mM이 되도록 질화수은($Hg(NO_3)_2$)을 첨가하였고, 농도 별로 질화수은($Hg(NO_3)_2$)이 첨가된 각 용액을 대상으로 250nm 내지 650nm 파장 범위에서의 흡광도를 재측정하였다. 측정된 결과는 도 5에 나타내었다.

[0207] 도 5를 살펴보면, 본 발명에 따른 색센서는 수은 이온(Hg^{2+})과 반응하여 흡수 극대가 높은 파장 영역으로 이동하고, 이러한 양상은 수은 이온(Hg^{2+})의 농도가 증가하는 것을 알 수 있다. 구체적으로, 실시예 2에서 얻은 색센서(P2)는 용액 상에서 수은 이온(Hg^{2+}) 첨가 이전에는 426±2nm의 파장 범위에서 흡수 극대를 가지나 수은 이온(Hg^{2+})이 첨가되면 흡수 극대가 높은 파장 영역으로 이동하여 2.6 mM 농도의 수은 이온(Hg^{2+})을 첨가하는 경우 446±2nm의 파장 범위에서 흡수 극대를 갖는 것($\Delta\lambda_{max}$=20±4nm)으로 나타났다.

[0208] 이러한 결과로부터 본 발명에 따른 색센서는 수은 이온(Hg^{2+})과 반응하여 250nm 내지 650nm 파장 범위에서 흡수 극대가 적색이동(red-shift)하고 이러한 경향은 색센서와 반응하는 수은 이온(Hg^{2+})의 농도, 즉 색센서와 접촉하

는 수은 이온(Hg^{2+})의 접촉량이 증가할수록 증가하는 것을 의미한다.

[0210] **실험예 3.**

[0211] 본 발명에 따른 색센서의 재생에 따른 시스테인(Cys) 및 수은 이온(Hg^{2+}) 검출능 변화를 평가하기 위하여 하기와 같은 실험을 수행하였다.

[0213] 석영 슬라이드(quartz slide, 가로 1㎝ X 세로 1㎝)를 준비하고, 실시예 1에서 얻은 색센서(P1)를 테트라하이드로퓨란(THF, 0.02㎖)에 1.5 ㎜의 농도로 용해시킨 후 준비된 석영 슬라이드에 2,000 rpm의 속도로 60초가 스핀 코팅하였다. 그런 다음 색센서가 코팅된 석영 슬라이드 표면에 365±2㎚ 파장의 UV 광을 10분간 조사하여 슬라이드 표면에 색센서가 필름 형태로 화학적 부동화(chemical immobilization)된 시편(주황색)을 제작하였다.

[0214] 증류수(1㎖)에 시스테인(Cys)의 농도가 2.5 ㎜의 농도가 되도록 용해시키고, 제조된 용액에 앞서 제작된 시편을 10분간 담궈 시편의 표면 색상 변화를 관찰하였다. 10분이 경과하면 시편을 꺼내 표면을 증류수로 세척하고 건조시킨 후 증류수(1㎖)에 질화수은($Hg(NO_3)_2$)의 농도가 2.6 ㎜이 되도록 이 용해시킨 용액에 10분간 담궈 시편의 표면 색상 변화를 관찰하였다. 상기와 같은 과정을 4회 반복 수행하였으며, 각 용액에 담궜다 꺼낼 시 시편의 색상을 육안으로 관찰하고 250㎚ 내지 650㎚ 파장 범위에서의 흡광도를 측정하였다. 측정된 결과는 도 6 및 7에 나타내었다.

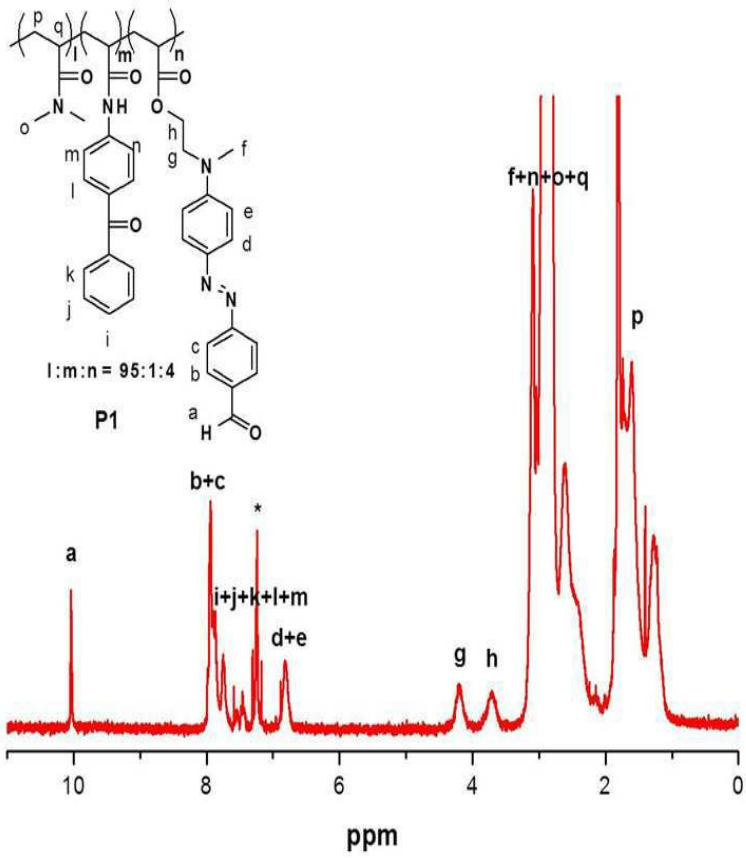
[0215] 도 6 및 7을 살펴보면, 기재 상에 코팅되어 고체상을 갖는 본 발명에 따른 색센서는 시스테인(Cys)과 수은 이온(Hg^{2+})을 연속적으로 접촉시킴으로써 재생가능하고 재생된 색센서는 색 변환 정도의 감소 없이 시스테인(Cys)과 수은 이온(Hg^{2+})을 검출하는 것을 알 수 있다.

[0216] 구체적으로, 기재 상에 코팅되어 고체상(필름 형태)을 갖는 실시예 1에서 얻은 색센서(P1)는 시스테인(Cys)과 수은 이온(Hg^{2+})을 일정시간 동안 연속적으로 번갈아 접촉시키는 경우 접촉 횟수에 상관없이 시스테인(Cys) 접촉 시 주황색(orange color)에서 황색(yellow color)으로, 수은 이온(Hg^{2+}) 접촉 시 황색(yellow color)에서 주황색(orange color)으로 변색되는 것이 육안으로 확인되었다. 또한, 상기 시편은 황색으로 변색 시 425±3㎚의 파장 범위에서 흡수 극대를 갖고, 주황색으로 변색 시 450±3㎚의 파장 범위에서 흡수 극대를 갖는 것($\Delta\lambda_{max}$=25±2㎚)으로 확인되었다.

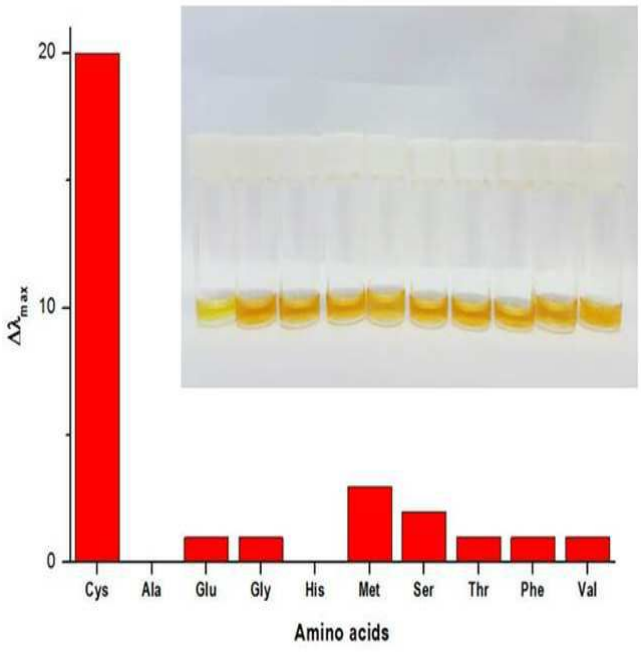
[0217] 이러한 결과는, 기재 상에 코팅되어 고체상을 갖는 본 발명에 따른 색센서는 시스테인(Cys)과 수은 이온(Hg^{2+})을 연속적으로 접촉시킴으로써 재생 가능하고, 재생된 색센서는 색 변환 정도의 감소 없이 시스테인(Cys)과 수은 이온(Hg^{2+})을 선택적으로 검출함을 나타낸다. 또한, 상기 색센서는 UV를 조사하여 기재에 고정하는 과정에서 색센서(P1)에 포함된 벤조페논기가 손실되므로 250㎚ 내지 650㎚ 파장 범위에서의 흡수 극대 이동 정도($\Delta\lambda_{max}$)가 용액상이 경우 보다 큼을 의미한다.

도면

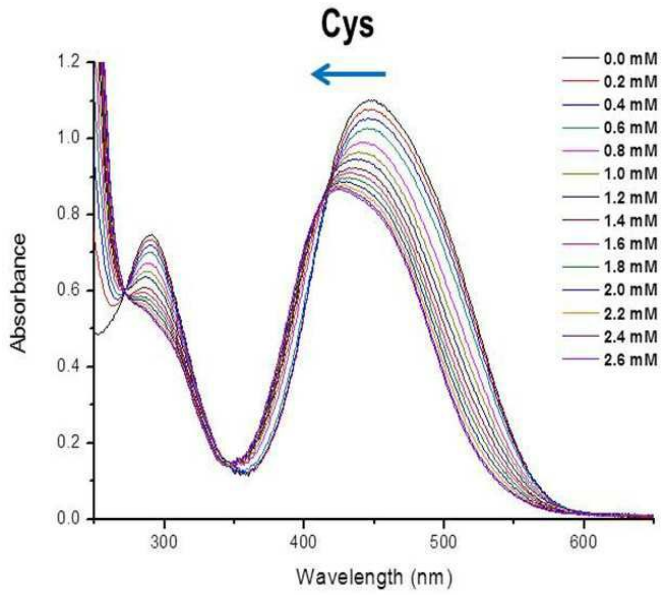
도면1


l:m:n = 95:1:4
P1
a
b+c
*
i+j+k+l+m
d+e
g
h
f+n+o+q
p
10
8
6
4
2
0
ppm

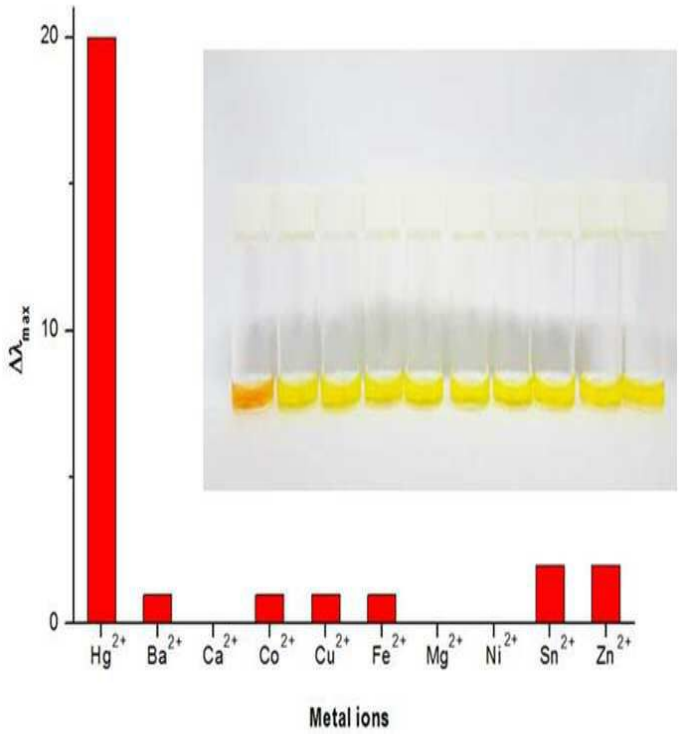
도면2


20
10
0
Cys
Ala
Glu
Gly
His
Met
Ser
Thr
Phe
Val
Amino acids

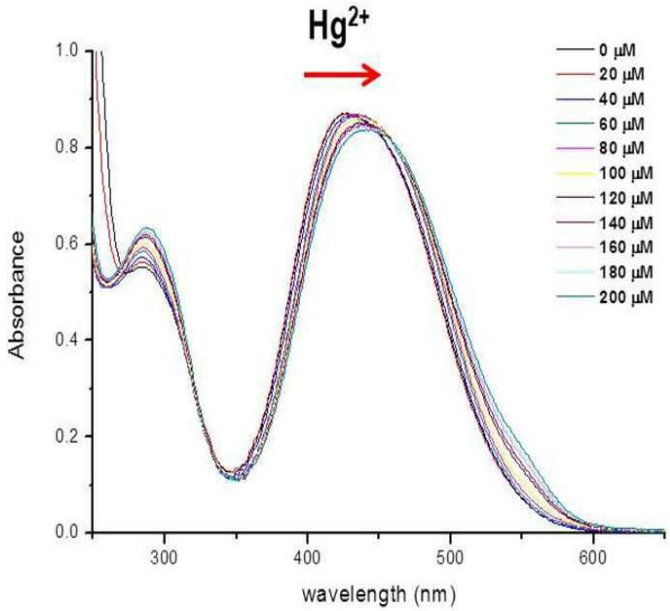
도면3


Cys
0.0 mM
0.2 mM
0.4 mM
0.6 mM
0.8 mM
1.0 mM
1.2 mM
1.4 mM
1.6 mM
1.8 mM
2.0 mM
2.2 mM
2.4 mM
2.6 mM
Absorbance
Wavelength (nm)

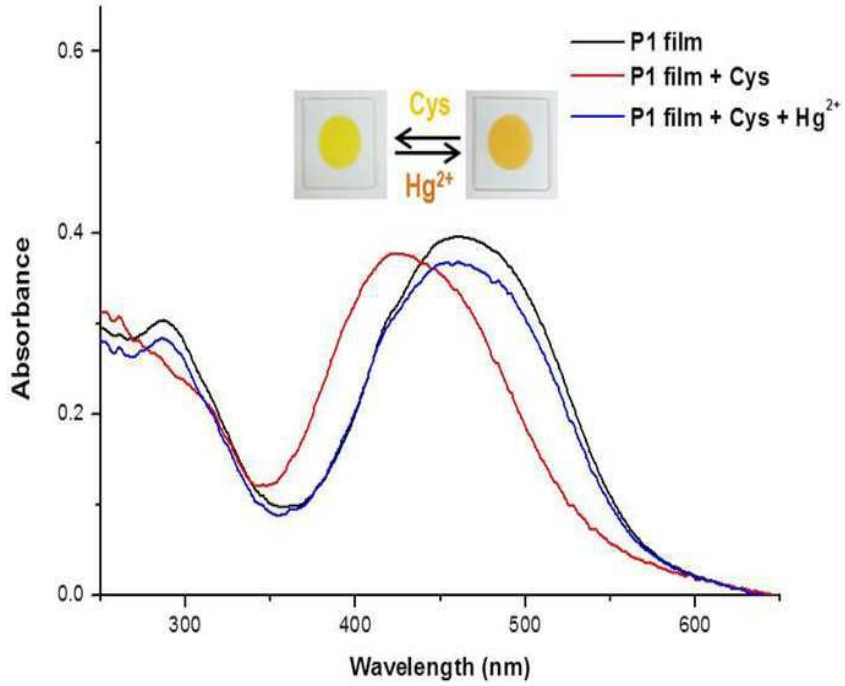
도면4


Hg2+
Ba2+
Ca2+
Co2+
Cu2+
Fe2+
Mg2+
Ni2+
Sn2+
Zn2+
Metal ions

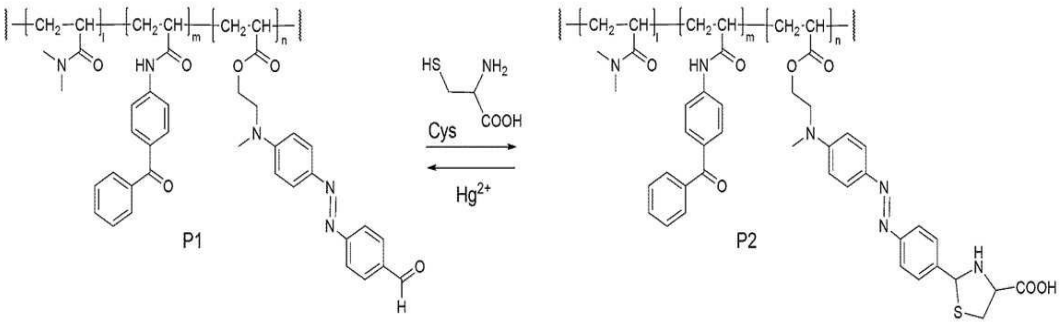
도면5

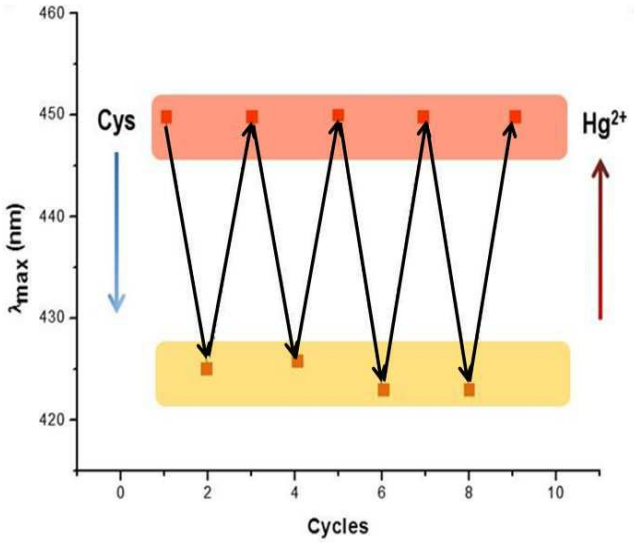

Hg2+
0 μM
20 μM
40 μM
60 μM
80 μM
100 μM
120 μM
140 μM
160 μM
180 μM
200 μM
Absorbance
wavelength (nm)

도면6


P1 film
P1 film + Cys
P1 film + Cys + Hg2+
Cys
Hg2+
Absorbance
Wavelength (nm)

도면7


HS
NH2
COOH
Cys
Hg2+
P1
P2
HN
O
N
H
S


Cys
Hg2+
λmax (nm)
460
450
440
430
420
0
2
4
6
8
10
Cycles