



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2017-0045421
(43) 공개일자 2017년04월27일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01K 11/18 (2006.01) G01K 1/02 (2006.01)
G01K 13/00 (2006.01)

(52) CPC특허분류
G01K 11/18 (2013.01)
G01K 1/024 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2015-0144660
(22) 출원일자 2015년10월16일
심사청구일자 2015년10월16일

(71) 출원인
계명대학교 산학협력단
대구광역시 달서구 달구벌대로 1095 (신당동)

(72) 발명자
박재희
대구광역시 달서구 달구벌대로 1095 (신당동, 계명대학교)

신종덕
서울특별시 동작구 상도로 369
(뒷면에 계속)

(74) 대리인
김일환

전체 청구항 수 : 총 13 항

(54) 발명의 명칭 가역감온변색물질 기반의 플라스틱 광섬유 온도 센서 및 그 제조방법

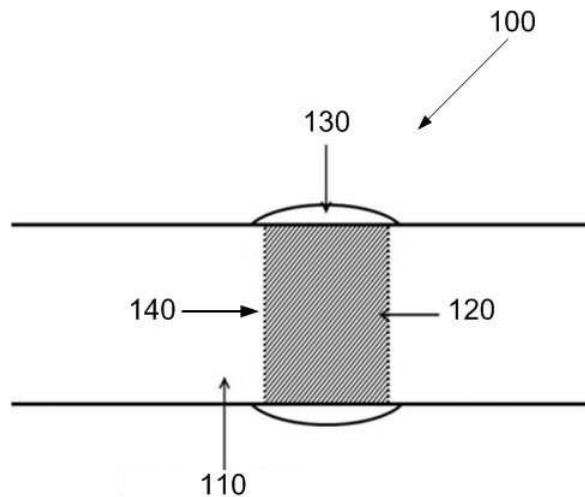
(57) 요약

본 발명은, 플라스틱 광섬유 센서에 관한 것으로, 플라스틱 광섬유의 측면에 형성된 홀과, 상기 홀에 삽입되는 서모크로믹 물질(TM)과, 상기 서모크로믹 물질을 밀봉하는 밀봉재를 포함하고, 상기 서모크로믹 물질은 염화코발트 물질인 플라스틱 광섬유 센서를 제공한다.

또한, 마이크로 홀 기반 플라스틱 광섬유 센서로서, 제조방법이 간단하고 제조단가가 낮으면서 감도가 우수한 굴절률 센서를 제작할 수 있는 장점이 있다.

또한, 플라스틱 광섬유 위에 형성된 마이크로 크기의 홀에 온도가 증가하면 투과율이 감소하는 화학물질이 채워진 구조를 형성하여, 온천수 등의 온도측정이 가능한 온도센서를 제공할 수 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

G01K 13/00 (2013.01)

(72) 발명자

하기룡

대구광역시 달서구 달구벌대로 1095 (신당동, 계명대학교)

박영준

대구광역시 달서구 달구벌대로 1095 (신당동, 계명대학교)

정도휘

대구광역시 달서구 달구벌대로 1095 (신당동, 계명대학교)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2013R1A1A2006308

부처명 교육과학기술부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 한국연구재단 기초연구사업

연구과제명 옆면공기구멍기반의 플라스틱 광섬유 센서

기 여 율 1/1

주관기관 계명대학교 산학협력단

연구기간 2013.06.01 ~ 2016.05.31

명세서

청구범위

청구항 1

플라스틱 광섬유의 측면에 형성된 홀과,
상기 홀에 삽입되는 서모크로믹 물질(TM)과,
상기 서모크로믹 물질을 밀봉하는 밀봉재를 포함하고,
상기 서모크로믹 물질은 염화코발트 물질인 것을 특징으로 하는 플라스틱 광섬유 센서.

청구항 2

제1항에서 있어서,
상기 염화코발트 물질은 겔 타입 염화코발트 물질인 것을 특징으로 하는 플라스틱 광섬유 센서.

청구항 3

제1항에 있어서,
상기 홀 직경이 0.5mm 내지 1.1mm인 것을 특징으로 하는 플라스틱 광섬유 센서.

청구항 4

제3항에 있어서,
상기 홀 직경에서 소정 간격을 두고 복수 개의 홀을 형성하는 것을 특징으로 하는 플라스틱 광섬유 센서.

청구항 5

제1항에 있어서,
상기 염화코발트 물질은, 염화코발트, 증류수, 에탄올을 사용하여 염화코발트 수용액을 형성하고, 상기 염화코발트에 물과 에탄올 비율을 1:9로 설정하는 것을 특징으로 하는 플라스틱 광섬유 센서.

청구항 6

제5항에 있어서,
상기 에탄올 90mL, 증류수 10mL, 염화코발트 0.4g을 사용하여 몰농도가 30.8 mM로 설정된 것을 특징으로 해당하는 것을 특징으로 하는 플라스틱 광섬유 센서.

청구항 7

제2항에 있어서,
상기 염화코발트 물질에 폴리비닐부티랄을 투입하여 용해시켜 겔화시키는 것을 특징으로 하는 플라스틱 광섬유 센서.

청구항 8

제1항에 있어서,
상기 센서는 온도범위 25℃ ~ 75℃를 측정할 수 있는 온도센서인 것을 특징으로 하는 플라스틱 광섬유 센서.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 밀봉재는 에폭시 재질인 것을 특징으로 하는 플라스틱 광섬유 센서.

청구항 10

- (a) 드릴링 머신으로 플라스틱 광섬유의 측면에 마이크로 크기의 홀을 형성하는 단계;
- (b) 마이크로 피펫을 통해 상기 홀에, 염화코발트, 증류수, 에탄올을 사용하여 염화코발트 수용액을 형성하고 상기 염화코발트에 물과 에탄올 비율을 1:9로 설정된 서모크로믹 물질(TM)을 삽입하는 단계; 및
- (c) 에폭시를 사용하여 상기 서모크로믹 물질을 밀봉하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 플라스틱 광섬유 센서의 제조방법.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 (b) 단계에서, 상기 서모크로믹 물질은 에탄올 90mL, 증류수 10mL, 염화코발트 0.4g을 사용하여 몰농도가 30.8 mM로 설정된 것을 특징으로 플라스틱 광섬유 센서의 제조방법.

청구항 12

제10항에 있어서,

상기 (b) 단계에서, 상기 염화코발트 물질에 폴리비닐부티랄을 투입하여 용해시켜 겔화시키는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 플라스틱 광섬유 센서의 제조방법.

청구항 13

제10항에 있어서;

상기 홀 직경에서 소정 간격을 두고 복수 개의 홀을 형성하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 플라스틱 광섬유 센서의 제조방법.

발명의 설명

기술 분야

- [0001] 본 발명은 플라스틱 광섬유를 이용한 센서에 관한 것으로, 보다 상세하게는 마이크로 홀 기반 플라스틱 광섬유 센서를 제공할 뿐만 아니라 상기 플라스틱 광섬유 위에 형성된 마이크로 크기의 홀에 온도가 증가하면 투과율이 감소하는 화학물질이 채워진 구조를 형성하여, 온천수 등의 온도를 측정할 수 있는 플라스틱 광섬유 온도 센서에 관한 것이다.

배경 기술

- [0002] 현재 광섬유를 이용한 많은 종류의 온도 센서들이 개발되어지고 있으며, 단일 모드 유리광섬유를 이용한 온도 센서는 광섬유 격자(FBG) 온도센서와 간접계형 온도센서들이 있다. 이들 센서들은 측정 감도가 매우 좋고, 측정 범위도 넓으나 압력변화와 같은 주변 노이즈에 영향을 많이 받고 있다. 그래서, 바람, 진동, 소리 등 주변 환경이 좋지 못한 장소의 온도를 측정에 사용하기가 어려움이 있다.
- [0003] 이에 다중 모드 플라스틱 광섬유를 이용한 온도센서도 여러 종류가 개발되고 있으며, 플라스틱 광섬유(Plastic Optical Fiber: POF)는 근거리 통신망과 저사양 제품 및 일회용 센서 제품 등에 사용되는 가격이 싸고, 효과적인 결합, 가벼운 무게, 전자기파 간섭에 무관, 우수한 가공성 등 많은 이점이 있다. 대부분의 상업용 POF들은 코어 및 클래딩의 굴절률이 각각 1.49 및 1.41인 1 밀리미터 내외의 코어 직경을 갖는 PMMA로 제조된 것들이다. POF의 손실이 가장 낮은 영역은 가시광선 영역으로써 저렴한 광원들을 손쉽게 구할 수가 있고, 또한 다중모드에서 동작하므로 POF 센서들은 대부분의 경우에 광 강도세기의 변화를 사용하므로 회로가 간단한 장점이 있다.
- [0004] 그러나 대부분 플라스틱 광섬유 온도센서들은 서모크로믹(thermochromic material, TM) 물질들을 사용하고 있는데, 온도변화에 따라 측정 광량이 변화하는 특성을 가지고 있어 측정 감도가 낮은 문제점이 있다. 더 나아가 광섬유의 주재료인 플라스틱 특성상 높은 온도에서 녹기 때문에 높은 온도를 측정할 수 없는 문제점이 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) 대한민국 공개특허 제 10-2010-0095252호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명은 전술한 바와 같은 문제점을 해결하기 위하여 안출된 것으로, 제조방법이 간단할 뿐만 아니라, 제조단가가 낮으면서, 감도 특성이 우수한 마이크로 홀 기반 플라스틱 광섬유 센서 및 그 제조방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

[0007] 또한, 상기 플라스틱 광섬유 위에 형성된 마이크로 크기의 홀에 온도가 증가하면 투과율이 감소하는 화학물질이 채워진 구조를 형성하여, 대상물의 온도를 측정할 수 있는 홀 기반 플라스틱 광섬유 온도 센서 및 그 제조방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0008] 이를 위해, 본 발명은, 플라스틱 광섬유의 측면에 형성된 홀과, 상기 홀에 삽입되는 서모크로믹 물질(TM)과, 상기 서모크로믹 물질을 밀봉하는 밀봉재를 포함하고, 상기 서모크로믹 물질은 염화코발트 물질인 플라스틱 광섬유 센서를 제공한다.

[0009] 바람직하게, 상기 염화코발트 물질은 겔 타입 염화코발트 물질이고, 상기 홀 직경이 0.5mm 내지 1.1mm이고, 상기 홀 직경에서 소정 간격을 두고 복수 개의 홀을 형성할 수 있다.

[0010] 또한, 상기 염화코발트 물질은, 염화코발트, 증류수, 에탄올을 사용하여 염화코발트 수용액을 형성하고, 상기 염화코발트에 물과 에탄올 비율을 1:9로 설정하는 것이 바람직하다.

[0011] 또한, 상기 에탄올 90mL, 증류수 10mL, 염화코발트 0.4g을 사용하여 몰농도가 30.8 mM로 설정된 것이 바람직하다.

[0012] 또한, 상기 염화코발트 물질에 폴리비닐부티랄을 투입하여 용해시켜 겔화시키는 것이 바람직하다.

[0013] 또한, 상기 센서는 온도범위 25℃ ~ 75℃를 측정할 수 있는 온도센서인 것이 바람직하다.

[0014] 또한, 상기 밀봉재는 에폭시 재질인 것이 바람직하다.

[0015] 본 발명의 다른 측면에 따르면, (a) 드릴링 머신으로 플라스틱 광섬유의 측면에 마이크로 크기의 홀을 형성하는 단계; (b) 마이크로 피펫을 통해 상기 홀에, 염화코발트, 증류수, 에탄올을 사용하여 염화코발트 수용액을 형성하고 상기 염화코발트에 물과 에탄올 비율을 1:9로 설정된 서모크로믹 물질(TM)을 삽입하는 단계; 및 (c) 에폭시를 사용하여 상기 서모크로믹 물질을 밀봉하는 단계를 포함하는 플라스틱 광섬유 센서의 제조방법을 제공한다.

[0016] 바람직하게, 상기 (b) 단계에서, 상기 서모크로믹 물질은 에탄올 90mL, 증류수 10mL, 염화코발트 0.4g을 사용하여 몰농도가 30.8 mM로 설정될 수 있다.

[0017] 또한, 상기 (b) 단계에서, 상기 염화코발트 물질에 폴리비닐부티랄을 투입하여 용해시켜 겔화시키는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0018] 또한, 상기 홀 직경에서 소정 간격을 두고 복수 개의 홀을 형성하는 단계를 더 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0019] 본 발명은, 마이크로 홀 기반 플라스틱 광섬유 센서로서, 저비용의 마이크로 드릴링 머신을 이용할 수 있으므로 제조방법이 간단하고 제조단가가 낮으면서 감도가 우수한 굴절률 센서를 제작할 수 있는 장점이 있다.

[0020] 또한, 플라스틱 광섬유 위에 형성된 마이크로 크기의 홀에 온도가 증가하면 투과율이 감소하는 화학물질이 채워

진 구조를 형성하여, 온천수 등의 온도측정이 가능한 온도센서를 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0021] 도 1은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 플라스틱 광섬유 온도센서(100)의 구조를 나타낸 도면,
 도 2는 시온 안료로 제작된 TM의 온도에 따른 스펙트럼(spectrum) 특성을 측정한 그래프,
 도 3a 및 도 3b는 도 2의 시온 안료로 제작된 TM의 온도 변화에 따른 색깔 변화를 보여주는 사진이며, 각각 도 3a는 온도가 65℃보다 낮을 때이고 도 3b는 온도가 65℃보다 높을 때임을 나타낸 것,
 도 4는 TM 물질로서 로핀에 대해 온도를 30℃에서 70℃로 변화시키면서 스펙트럼에 따른 투과도를 조사한 그래프,
 도 5는 표 1의 염화코발트 기반 TM에서, 염화코발트 수용액의 물농도에 대해 온도에 따른 투과율을 나타낸 그래프,
 도 6은 30.8 mM 염화코발트 수용액의 온도 변화에 따른 스펙트럼 변화를 나타낸 그래프,
 도 7은 겔화된 염화코발트 TM에 대해 온도에 따라 측정된 투과율을 나타낸 그래프,
 도 8은 650nm 파장에서의 온도에 따른 겔 타입 염화코발트의 투과도를 측정한 그래프,
 도 9는 본 발명에 따른 플라스틱 광섬유 온도 센서의 온도 측정을 위한 실험장치를 예시한 도면,
 도 10 및 도 11은 도 9의 실험장치를 이용하여 본 발명에 따른 염화코발트 TM을 이용한 홀 기반의 플라스틱 광섬유 온도 센서의 특성 실험 결과를 나타낸 그래프로서, 도 10은 온도에 따른 광출력 특성을 나타낸 그래프이고, 도 11은 홀 직경에 따른 광출력 특성을 나타낸 그래프,
 도 12a 및 도 12b는 본 발명에 다른 바람직한 실시예에 따른 플라스틱 광섬유 온도센서를 나타낸 도면,
 도 13은 선상 홀을 갖는 플라스틱 광섬유(POF)에 대한 특징 다이어그램이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0022] 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시예들을 통해 설명될 것이다. 그러나, 본 발명은 여기에서 설명되는 실시예들에 한정되지 않고 다른 형태로 구체화될 수도 있다. 단지, 본 실시예들은 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 본 발명의 기술적 사상을 용이하게 실시할 수 있을 정도로 상세히 설명하기 위하여 제공되는 것이다.
- [0023] 도면들에 있어서, 본 발명의 실시예들은 도시된 특정 형태로 제한되는 것이 아니며 명확성을 기하기 위하여 과장된 것이다. 또한, 명세서 전체에 걸쳐서 동일한 참조번호로 표시된 부분들은 동일한 구성요소를 나타낸다.
- [0024] 본 명세서에서 단수형은 문구에서 특별히 언급하지 않는 한 복수형도 포함한다. 또한, 명세서에서 사용되는 "포함한다" 또는 "포함하는"으로 언급된 구성요소, 단계, 동작 및 소자는 하나 이상의 다른 구성요소, 단계, 동작, 소자 및 장치의 존재 또는 추가를 의미한다.
- [0025] 이하에서 본 발명의 바람직한 실시예에 대하여 도면을 참조하여 상세히 설명하기로 한다.
- [0026] 도 1은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 플라스틱 광섬유 온도센서(100)의 구조를 나타낸 도면이다.
- [0027] 도 1을 참조하면, 본 발명에 따른 플라스틱 광섬유 온도센서(100)는, 플라스틱 광섬유(110)의 측면에 홀(140)을 형성하고, 상기 홀(140)에 서모크로믹 물질(TM, 130)이 채워지고, 상기 홀에 채워질 서모크로믹 물질(130)을 에폭시(140)를 통해 밀봉하는 형태의 홀 기반 형태의 플라스틱 광섬유 센서이다.
- [0028] 상기 홀 기반 플라스틱 광섬유 온도센서의 제조과정을 살펴보면, 먼저, 플라스틱 광섬유(POF)(110)를 마이크로 드릴링 머신의 공작대에 놓고, 상기 플라스틱 광섬유를 바이스(vice)로 고정한다. 이후, 상기 바이스로 고정된 플라스틱 광섬유(110)의 선상(in-line)에 상기 드릴링 머신으로 마이크로 크기의 홀(140)을 형성한다. 이후, 상기 홀(140)에 채워질 서모크로믹 물질(130)을 마이크로 피펫에 넣고 상기 홀(140)에 상기 서모크로믹 물질(130)을 주입하고 에폭시(140)를 사용하여 밀봉한다.
- [0029] 이때, 서모크로믹 물질(130)은 사용될 온도에 따라 투과율이 변화하는 가역감온 변색물질이다. 상기 가역감온 변색물질은, 온도가 증가하면 투과율이 감소하는 화학물질로서 염화코발트(cobalt chloride)가 바람직하다. 보

다 바람직하게는 겔 타입(gel type) 염화코발트/폴리비닐부티랄(cobalt chloride/polyvinyl butyral)이 해당될 수 있다.

- [0030] 이하에서, 도 1의 플라스틱 광섬유 온도센서에 적합한 서모크로믹 물질(TM)에 대한 연구과정을 살펴보고, 도 2 내지 도 8을 참조하여 설명한다.
- [0031] 첫 번째, 온도에 따라 색이 변하는 시온 안료 혹은 시온 페인트(paint)(NANO I&C)를 사용하여 TM 물질을 제작한 것을 살펴본다.
- [0032] 먼저, 시온 안료와 에폭시(epoxy)를 중량비 1:5의 비율로(가령, 시온 안료 20g, 에폭시 100g)로 섞어서 TM을 만든다. 이때, 사용된 시온 안료는 온도가 65℃보다 낮을 때는 붉은색을 띠다가 65℃보다 높아지면 흰색으로 변색하는 특성이 있다.
- [0033] 도 2는 시온 안료로 제작된 TM의 온도에 따른 스펙트럼(spectrum) 특성을 측정한 그래프이다.
- [0034] 도 2를 참조하면, 온도를 30℃에서 70℃로 변화시키면서 스펙트럼에 따른 투과율을 조사한 그래프이며, 그래프가 시온 안료 TM이 온도에 따른 투과율의 변화량이 매우 적어 높은 감도의 센서 제작에 적절한 물질이 아님을 알 수 있으며, 시온 페인트의 경우도 거의 동일한 특성을 보여줌을 알 수 있으며, 본 실험에 사용된 TM의 두께는 1mm였음을 알 수 있다.
- [0035] 도 3a 및 도 3b는 도 2의 시온 안료로 제작된 TM의 온도 변화에 따른 색깔 변화를 보여주는 사진이며, 도 3a는 온도가 65℃보다 낮을 때이고 도 3b는 온도가 65℃보다 높을 때를 나타낸 것이다.
- [0036] 두 번째, 연구된 TM 물질로서 로핀에 대해 살펴본다.
- [0037] 상기 로핀은 275℃ ~ 277℃에서 녹으며 가역적 특성을 가지고 있으며, 상기 로핀 분말을 약 270℃에서 녹인 후 식히면 결정화가 되어 온도에 따라 투과도가 변한다.
- [0038] 이러한 로핀 기반의 TM을 제작하기 위하여 1mm 두께의 유리관에 로핀의 분말을 넣고 퍼니스 내부에 두고, 퍼니스 내부의 온도를 상온에서 약 270℃까지 증가시켜 로핀 분말들을 녹인다. 그런 다음, 퍼니스의 내부 온도를 낮추어 로핀이 결정화가 되도록 유도하고, 결정화된 로핀을 1:5 비율로(로핀 20g, epoxy 100g) 섞어서 TM을 제작한다. 그리고 로핀 기반의 TM의 온도에 따른 스펙트럼 변화를 관찰한다.
- [0039] 도 4는 TM 물질로서 로핀에 대해 온도를 30℃에서 70℃로 변화시키면서 스펙트럼에 따른 투과도를 조사한 그래프이다.
- [0040] 도 4를 참조하면, 로핀 기반의 TM 역시 온도에 따른 투과율의 변화량이 미미하여 고감도 온도센서 제작에 적절하지 않음을 보여 주고 있다.
- [0041] 세 번째, 양초재료인 파라핀을 사용하여 TM을 제작한다.
- [0042] 상기 파라핀은 온도가 약 60℃ 이하 일 때는 고체이고 약 60℃ 이상일 때는 액체로 되는 특성을 보유하고 있어서, 일반적으로 고체일 때는 투과율이 낮고, 액체일 때 투과도가 높은 특성을 가지고 있다.
- [0043] 이에 따라 제작된 파라핀 기반 TM의 온도특성을 조사해 본 결과, 파라핀 기반 TM도 온도 센싱을 위한 필요한 특성을 보여주고 있지 못함을 알 수 있었다.
- [0044] 마지막으로, 염화코발트 기반의 TM을 제작한다.
- [0045] 물과 알코올에 잘 분해되는 염화코발트를 사용한 TM을 개발하였는데, 염화코발트는 물에 용해되면(6배위, 육면체) 분홍색을 나타내고, 알코올에 분해되면(4배위, 4면체) 청색을 나타내는 것으로 알려져있다.
- [0046] 먼저, 화학식 1과 같이, 염화코발트(CoCl_2), 증류수(D.I. Water), 에탄올(Ethanol)을 사용하여 염화코발트 수용액($\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)을 만들었다.

화학식 1

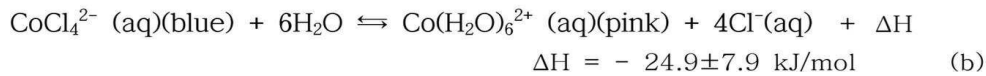


표 1은 본 발명에 따른 염화코발트 기반 TM에서, 염화코발트, 증류수, 에탄올의 비를 나타낸 것이며, 표 1과 같이, 에탄올과 물의 비율(에탄올 90ml, 물 10ml)에 염화코발트의 양을 조절하면서 파장에 따른 TM의 특성을 조사한다.

염화코발트 0.4g에 물과 에탄올 비율을 1:9(에탄올 90ml, 물 10ml)로 하였을 때, 즉 몰농도가 30.8mM에서 투과도 차이가 65.2%로 가장 크기 때문에 가장 좋은 감도를 나타냄을 알 수 있다.

표 1

몰 농도(mM)	에탄올(mL)	증류수(mL)	염화코발트 수용액(g) ($\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)
15.4	90	10	0.2
30.8			0.4
46.2			0.6
60.8			0.8
76.2			1.0

도 5는 상기 표 1의 염화코발트 기반 TM에서, 염화코발트의 양의 조절에 따라 670nm 파장에서 온도에 따른 투과율을 나타낸 그래프이다.

도 5를 참조하면, 15.4 mM 용액은 25℃에서 80.4%, 75℃에서는 37.8%의 투과도를 각각 나타냄을 확인할 수 있다. 또한, 15.4 mM 용액은 다른 농도의 염화코발트 용액과 비교해서 25℃로부터 75℃ 전 온도 영역에서 상대적으로 높은 투과도를 나타내는 것은 용해된 염화코발트의 양이 적기 때문으로, 25℃와 75℃에서의 투과도 차이는 42.6%로 나타났음을 확인할 수 있다.

이어, 30.8 mM 용액은 25℃에서 69.3%, 75℃에서는 4.1%의 투과도를 각각 나타냄을 확인할 수 있다. 또한, 30.8 mM 용액에 대하여 75℃에서 25℃로 온도를 낮추면서 투과도를 측정한 결과도 같은 경향으로 나타나 가역 반응임을 확인하였으며, 25℃와 75℃에서의 투과도 차이는 65.2%로 나타났음을 확인할 수 있다.

이어, 46.2 mM 용액은 25℃에서 54.1%, 75℃에서는 1.5%의 투과도를 각각 나타내고, 25℃와 75℃에서 투과도 차이는 52.6%로 나타났음을 확인할 수 있다.

이어, 60.8mM 용액은 25℃에서 45.7%, 75℃에서는 1.2%의 투과도를 각각 나타내고, 25℃와 75℃에서의 투과도 차이는 44.5%로 나타났음을 확인할 수 있다.

이어, 76.2 mM 용액은 25℃에서 36.9%, 75℃에서는 1.3%의 투과도를 각각 나타내고, 25℃와 75℃에서의 투과도 차이는 35.6%로 나타났음을 확인할 수 있다.

도 5에 도시된 바와 같이, 용액에 용해되어 있는 염화코발트의 농도가 증가할수록 투과도가 감소하는 이유는 용해되어 있는 염화코발트의 양이 증가하여, 푸른색을 나타내는 4면체 구조가 같은 온도에서 더 많이 존재하기 때문으로 판단된다.

또한, 용액의 투과율은 온도에 반비례하고, 표 1의 실험 결과로부터 30.8 mM(에탄올 90mL, 증류수 10mL, 염화코발트 40mL)일 때 가장 온도에 따른 투과율 변화가 좋음을 확인할 수 있다.

그러나, 염화코발트 수용액은 용액의 누수로 인하여 용액량이 줄어들거나 고온에서 용매의 휘발로 인한 용액의 농도변화, 용기 내의 공기제거 등의 공정상의 어려움이 있다.

- [0060] 실제로 염화코발트 수용액을 0.7mm 지름의 유리관에 수용액을 넣고, 이 유리관을 플라스틱 광섬유 홀에 삽입을 하여 온도 센서로 사용하였으나 위에서 언급한 문제들이 발생하였다.
- [0061] 도 6은 30.8 mM 염화코발트 수용액의 온도 변화에 따른 스펙트럼 변화를 나타낸 그래프이다.
- [0062] 도 6을 참조하면, 630nm ~ 680nm 파장 주변에서 온도에 따른 투과도 변화량이 크게 나타남을 확인할 수 있다.
- [0063] 이와 같이, 염화코발트 수용액을 TM으로 사용할 경우 나타나는 문제점들을 해결하기 위하여 염화코발트 수용액을 겔화(gel)하여 TM으로 사용하였다.
- [0064] 즉, 25℃와 75℃에서 투과도 차이가 가장 크게 나타나는 30.8 mM 용액 100 ml에 폴리비닐부티랄(polyvinyl butyral) 5g을 투입하여 용해시켜 겔화시켰다.
- [0065] 상기 겔화된 물질의 온도에 따른 투과도를 측정하기 위하여 두 장의 슬라이드 글라스 사이에 겔화된 물질을 1mm 두께로 도포하여 자외선-가시광선 분광분석기(UV-Visible spectrometer)를 사용하여 투과율을 측정하였다.
- [0066] 도 7은 겔화된 염화코발트 TM에 대해 온도에 따라 측정된 투과율을 나타낸 그래프이다.
- [0067] 도 7을 참조하면, 도 6의 염화코발트 수용액과 비교했을 때, 도 7의 폴리비닐부티랄을 포함한 겔화된 염화코발트 수용액이 투과도가 약간 낮게 나타남을 확인할 수 있다. 이는 겔형 온도 감지 물질을 제조하기 위하여 사용한 폴리비닐부티랄에 의하여 얼마의 빛의 흡수가 일어나는 것으로 판단된다.
- [0068] 도 8은 670nm 파장에서의 온도에 따른 겔타입 염화코발트의 투과도를 측정한 그래프이다.
- [0069] 도 8을 참조하면, 겔 타입 염화코발트 TM이, 온도가 25℃에서 75℃까지 상승함에 따라 투과율이 감소하며, 상기 온도 구간(25℃ ~ 75℃)에서의 도 5의 염화코발트 TM에서 투과도 차이 65.2%와 유사 또는 크므로, 감도 특성이 좋음을 확인할 수 있다.
- [0070] 도 9는 본 발명에 따른 플라스틱 광섬유 온도 센서의 온도 측정을 위한 실험장치를 예시한 도면이다.
- [0071] 도 9를 참조하면, 온천수 온도 측정에 응용 가능성을 알아보기 위한 실험장치로서, 핫플레이트 상에 물이 저장된 비이커를 두고, 온도계(thermometer)와 본 발명에 따른 홀 기반의 플라스틱 광섬유 온도센서를 물이 저장된 비이커 내부에 설치하고, 670nm laser(LD), 광검출기(PD, photodetector), PC를 사용하여 물의 온도를 측정한다. 이때, 25℃ ~ 75℃까지의 물의 온도의 상승에 따른 광출력을 측정할 수 있고, 이를 통해 온천수의 온도를 상시 모니터링할 수 있음을 확인할 수 있다.
- [0072] 도 10 및 도 11은 도 9의 실험장치를 이용하여 본 발명에 따른 염화코발트 TM을 이용한 홀 기반의 플라스틱 광섬유 온도 센서의 특성 실험 결과를 나타낸 그래프로서, 도 10은 온도에 따른 광출력 특성을 나타낸 그래프이고, 도 11은 홀 직경에 따른 광출력 특성을 나타낸 그래프이다. 이때, 광출력을 측정할 때 사용한 프로그램으로, COHERENT사에서 제공하는 측정 프로그램을 사용하여 특성조사를 수행한 것이다.
- [0073] 도 10을 참조하면, 온도에 따른 광출력 특성에 대해 살펴보면, 온도가 25℃ ~ 75℃까지 증가함에 따라 대체로 광출력은 반비례하고, 마이크로 홀의 직경이 0.5mm에서 1.1mm까지 증가함에 따라 대체로 광출력도 반비례함을 알 수 있다.
- [0074] 도 11을 참조하면, 홀 직경이 0.5mm인 경우 25℃에서의 광출력과 50℃에서의 광출력 차이가 대략 5μW 정도로서 측정 감도(sensitivity)는 0.17μW/℃이고, 홀 직경이 1.1mm인 경우는 25℃에서의 광출력과 50℃에서의 광출력 차이가 대략 100μW 정도로서, 측정감도는 4.12 μW/℃이다. 이에 따라, 1.1mm 직경의 홀을 가질 때 감도(sensitivity)가 가장 큼을 알 수 있고, 0.412 μW는 충분히 측정이 가능한 광출력이기 때문에 측정감도가 0.1℃보다 적다. 그리고 측정에 샘플링 주파수(sampling frequency)가 10Hz였기 때문에 측정시간은 0.1초이며 측정온도 범위도 25℃ ~ 75℃이다. 이에 따라, 온천수 등의 온도 측정 센서 조건을 충족함을 알 수 있다.
- [0075] 도 12a 및 도 12b는 본 발명에 따른 바람직한 실시예에 따른 플라스틱 광섬유 온도센서(200)를 나타낸 도면이다.
- [0076] 도 12a를 참조하면, 본 발명에 따른 플라스틱 광섬유 온도센서(200)는 도 1의 플라스틱 광섬유 온도센서(100)와 비교하여, 5mm 간격으로 3개의 홀(241, 242, 243)을 형성한 것을 나타낸다.
- [0077] 도 12b는, 0.7mm 직경의 홀을 갖는 3개의 홀을 형성한 플라스틱 광섬유 센서에서의 투과도 특성(굴절률)을 나타낸 것으로, 한 개의 홀을 가진 센서보다 약 3배 정도 감도가 증가함을 알 수 있다.

- [0078] 즉, 플라스틱 광섬유 온도센서에서 분해능을 증가시키기 위해, 홀의 크기를 증가시키고(0.5mm에서 1.1mm), 이를 위해 마이크로 드릴링을 사용하거나, 센서 구조의 물리적 강도를 유지하며 센서의 감도를 높이기 위해 여러 개의 홀을 형성할 수 있다.
- [0079] 이하에서, 홀 기반 광섬유 센서의 굴절률 측정에 대한 설명으로 홀의 크기 및 복수 개의 홀 형성이 분해능을 증가시킴을 설명한다.
- [0080] 도 13은 선상 홀을 갖는 플라스틱 광섬유(POF)에 대한 특징 다이어그램이다. POF에서 코어 및 클래딩의 굴절률이 각각 1.49 및 1.41이고, 코어 직경(2a)이 1.48mm, 실험에서 사용된 광원의 파장이 670nm이면 백만 개 이상의 모드가 존재하게 되므로, 이 구조에 대한 해석은 광선 광학의 관점에서 설명될 수 있다.
- [0081] 광섬유가 원통적(cylindrical) 대칭이므로, 본 발명에서는 광섬유 축으로부터 오직 상반구 만을 고려한다. 홀의 중심으로부터 $L(=a \tan \theta)$ 만큼 떨어진 광섬유 축 상의 위치에서 홀과 맞닿는 광선 A의 각 $\theta_A(=\sin^{-1}(r_h/D))$ 와 광선 B에 상응하는 상보적 임계각 $\theta_B(=\tan^{-1}(a/D))$ 사이의 광은 홀에 의해 차단되지 않고 손실없이 전파된다고 가정할 수 있다. 이를 기저 투과율(base transmittance)이라고 정의한다. r_h 는 홀의 반경이고, a 는 코어의 반경이고, θ_c 는 임계각이다. 기저 투과율에 광선 C와 같이 홀을 통과한 후 코어와 클래딩의 경계면에서 전반사가 발생하는 조건을 만족하는 광선들의 광 파워가 합하여져 이 광섬유 구조의 투과율이 된다. 투과율(transmittance)이란 광섬유의 왼쪽 입력단의 광 파워와 오른쪽 출력단 광 파워의 비율을 의미한다.
- [0082] 만약 홀이 작으면, 기저 투과율은 증가하나 홀의 굴절률 변화에 따른 광 파워 변화는 감소한다. 이것은 분해능이 낮은 경우이다. 반면에, 홀이 크기가 증가하면 기저 투과율은 감소하나 홀의 굴절률 변화에 따른 투과율의 변화는 증가한다. 이것은 분해능이 높은 경우이다. 따라서, 홀 크기는 센서의 분해능에 상당한 영향을 미치게 된다.
- [0083] 홀을 채우는 액체의 굴절률이 대부분의 경우에 광섬유 코어 굴절률 보다 낮기 때문에, 홀은 입사광을 분산시키는 오목렌즈와 같은 기능을 갖는다. 만약 입사 광선이 광섬유축에 근접하게 진행하여 홀을 통과한 후 코어/클래딩 경계면에서 임계각보다 큰 각으로 입사하면 손실 없이 전파할 것이다.
- [0084] 만약 출력각, θ_o 가 임계각과 같거나 작아진다면, 이 광선은 경계면에서 굴절로 인해 소실될 것이다. 홀을 지나 광섬유 코어에서 전파되는 광선에 대한 θ 의 각도 범위 내에서, 센서의 투과율(transmittance)은 다음의 식에 의해 계산된다.

수학식 1

$$\theta_i = \theta_h + \theta = \theta_h + \tan^{-1} \left(\frac{r_h \sin \theta_h}{L - r_h \cos \theta_h} \right)$$

[0085]

- [0086] 여기서, θ_h 는 광섬유 축과 광선 C가 홀에 도달하는 점 사이의 각도를 홀의 중심으로부터 측정한 각도이다. $\theta_{0,max} = \theta_c$ 에 대하여,

수학식 2

$$\theta_{o,max} = \theta_c = \sin^{-1} \left(\frac{n_2}{n_1} \right) = \frac{\pi}{2} - 2\theta_{i,max} + \theta_{h,max} + \theta_{i,max}$$

[0087]

- [0088] [수학식 2]로부터, $\theta_{h,max}$ 를 수치해석으로 구한 후 이를 다시 [수학식 1]에 삽입하여 광선이 홀을 지나 손실 없이 전파될 수 있는 최대 입사각도인 $\theta_{i,max}$ 를 구한다. [표 2]는 홀을 채우는 서로 다른 물질의 굴절률에 대해 계

산된 최대각도들을 보여준다. 센서 구조의 투과율은 다음의 가정 아래서 쉽게 구해진다.

1) 광섬유 코어와 홀을 채우는 물질 간의 굴절률 차이는 크지 않아서 홀/광섬유 코어 입/출력 경계에서 프레즈넬 반사는 무시된다. 2) 자오선 방향의 광선만을 유일하게 고려하고, 3) 모드 분포는 균일하고, 4) 홀 표면 거칠기에 의한 산란은 없다.

그러므로 센서의 투과율은 아래의 [수학식 3]과 같다.

수학식 3

$$T = \frac{[\theta_B - \theta_A] + \theta_{\max}}{\theta_B}$$

$$= \frac{\left[\cos^{-1}\left(\frac{n_2}{n_1}\right) - \sin^{-1}\left(\frac{r_h}{L}\right) \right] + \tan^{-1}\left(\frac{r_h \sin \theta_{h,\max}}{L - r_h \cos \theta_{h,\max}}\right)}{\cos^{-1}\left(\frac{n_2}{n_1}\right)}$$

최대 입력각도는 [표 2]에 나타난 바와 같이 굴절률에 따라 증가한다. 이것은 굴절률이 증가할수록 광이 홀을 더 많이 지나게 되어 더 높은 투과율을 이끌어낸다는 것을 명확하게 보여준다.

표 2

Hole index	Max input angle $\theta_{\max}$ [deg]	Max hole angle $\theta_{h,\max}$ [deg]	Max inc. angle at input $\theta_{i,\max}$ [deg]	Max trans. angle at input $\theta_{t,\max}$ [deg]	T (Theory)
1.0	2.50	13.37	15.88	24.06	0.65
1.33	6.06	35.32	41.38	47.78	0.83
1.42	7.98	52.43	60.42	65.86	0.94
1.47	9.01	69.60	78.61	83.54	0.99

센서 구조의 투과율을 평가하기 위해, 투과율의 해석적 결과를 다음의 가정 아래 광선 광학을 이용하여 유도하였다. 1) 광섬유 코어와 홀의 굴절률 차이는 크지 않아서 홀/광섬유 코어 입/출력 경계면에서 프레즈넬 반사는 무시한다. 2) 자오선 방향의 광선만 고려하고, 3) 모드 분포는 균일하고, 4) 홀 표면 거칠기에 따른 산란은 없다. 유도된 투과율 결과에 의하면 홀 크기가 센서 분해능에 영향을 준다. 따라서, 분해능을 증가시키기 위해, 더 큰 홀의 생성이 필요하지만, 홀 크기를 증가시키면, 물리적 강도가 떨어진다. 이를 보상하기 위해, 물리적 강도를 유지하며 더 높은 분해능을 이끌어내기 위해 더 작은 직경을 갖는 홀들을 여러 개 사용하는 것이 바람직하다.

이상의 설명에서 본 발명은 특정의 실시 예와 관련하여 도시 및 설명하였지만, 특허청구범위에 의해 나타난 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 한도 내에서 다양한 개조 및 변화가 가능하다는 것은 당 업계에서 통상의 지식을 가진 자라면 누구나 쉽게 알 수 있을 것이다.

부호의 설명

100, 200: 플라스틱 광섬유 온도 센서

110, 210: 플라스틱 광섬유

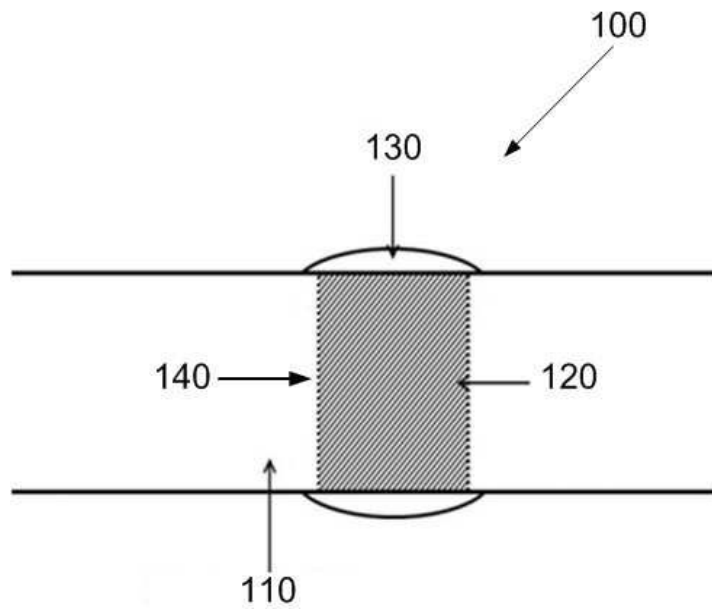
120: 서모크로믹 물질

130: 에폭시

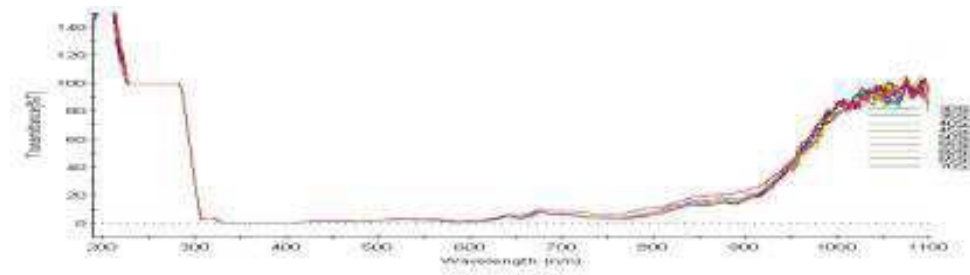
140, 241, 242, 243: 홀

도면

도면1



도면2



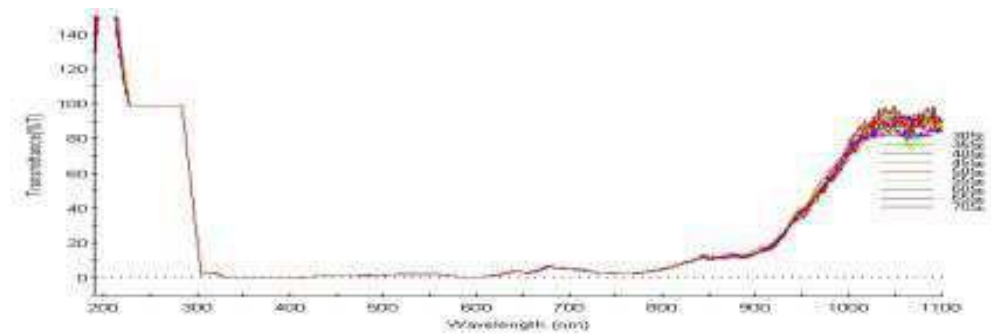
도면3a



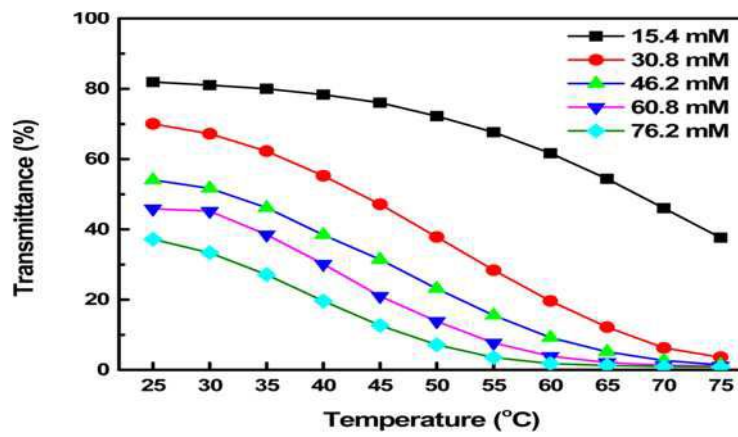
도면3b



도면4

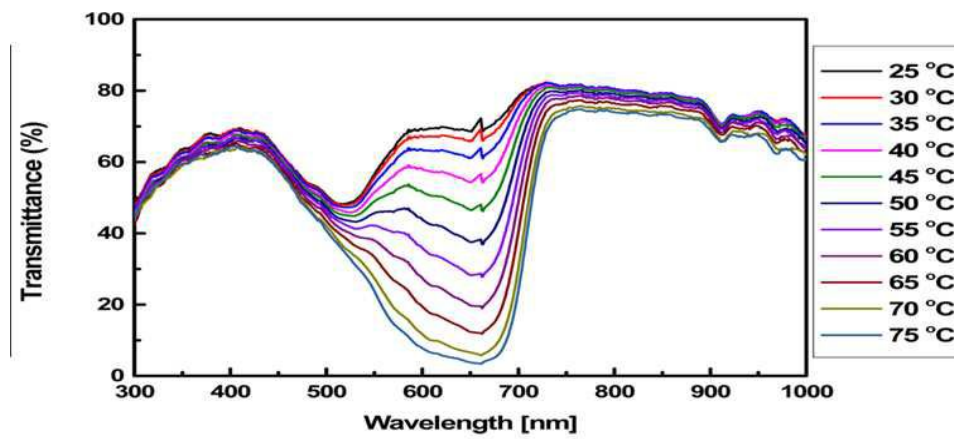


도면5



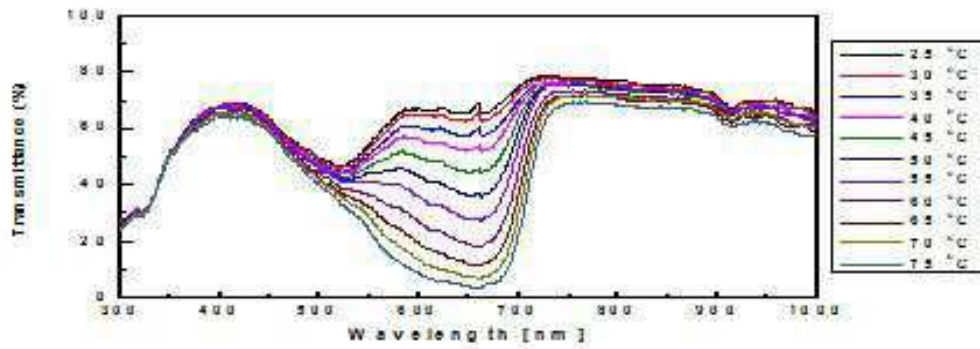
Transmittance of CoCl₂ solutions at 670 nm

도면6

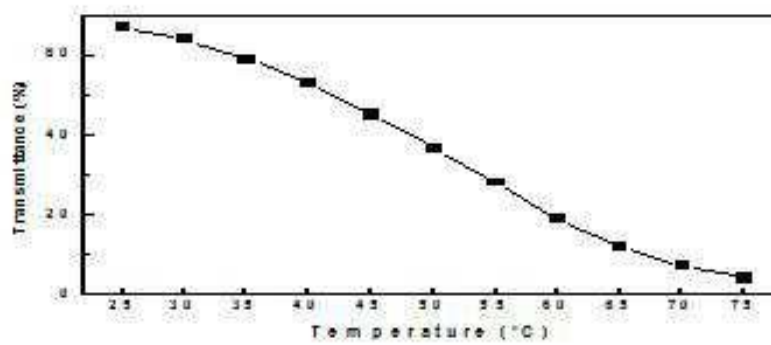


Transmittance of 30.8 mM CoCl_2 solution with temperature

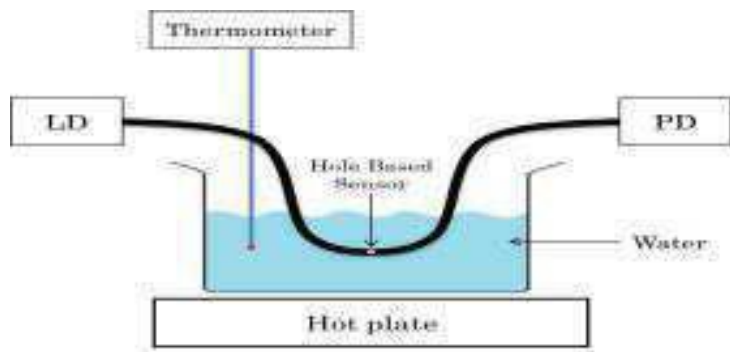
도면7



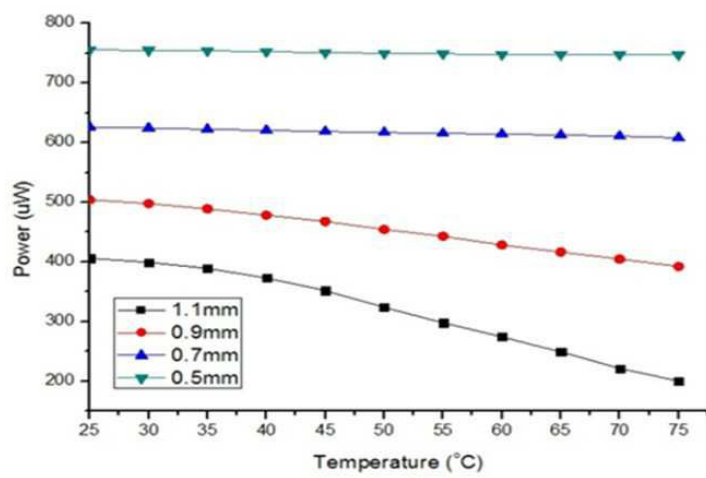
도면8



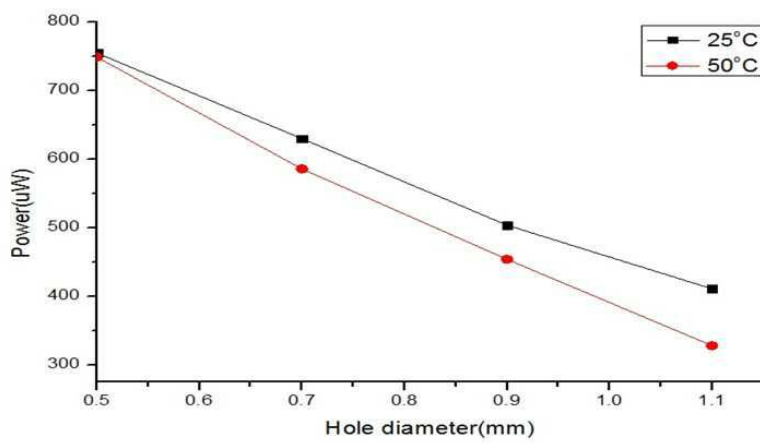
도면9



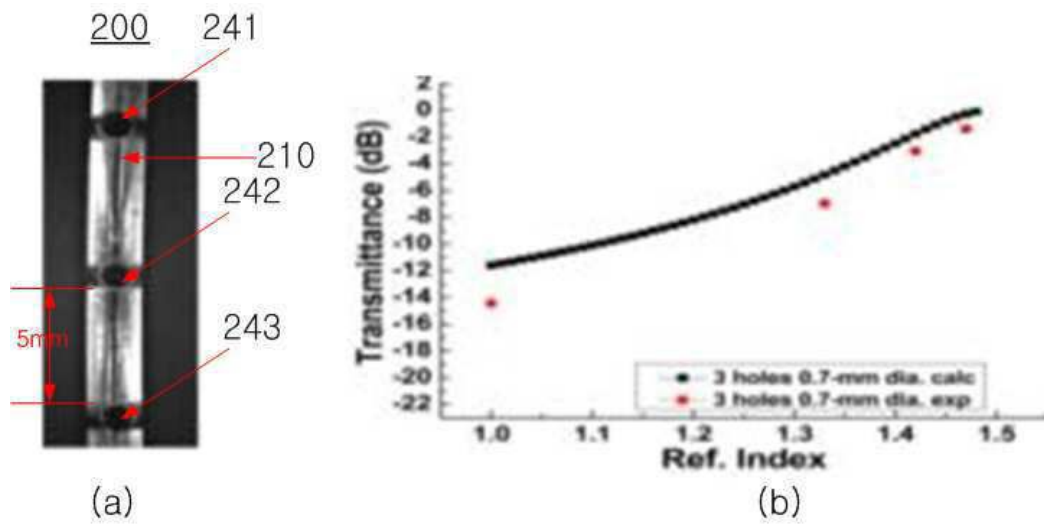
도면10



도면11



도면12



도면13

