



(19) 대한민국특허청(KR)
 (12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년02월05일
 (11) 등록번호 10-1825581
 (24) 등록일자 2018년01월30일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 21/94 (2006.01) *G01N 21/41* (2006.01)
G01R 31/00 (2006.01)
- (21) 출원번호 10-2011-0099406
 (22) 출원일자 2011년09월29일
 심사청구일자 2016년07월29일
 (65) 공개번호 10-2012-0033293
 (43) 공개일자 2012년04월06일
 (30) 우선권주장
 12/893, 115 2010년09월29일 미국(US)
- (56) 선행기술조사문현
 JP2000065745 A*
 JP2007183644 A*
 US20100066315 A1
 KR1020060003048 A

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
제너럴 일렉트릭 캄파니
 미합중국 뉴욕 (우편번호 12345) 쉐넥테디 원 리
 베 로우드
 (72) 발명자
시아 후아
 미국 뉴욕주 12309 니스카유나 케이1-3에이59 원
 리서치 서클 글로벌 리서치 제너럴 일렉트릭 캄파
 니
코스트 글렌 피터
 미국 뉴욕주 12309 니스카유나 케이1-3에이59 원
 리서치 서클 글로벌 리서치 제너럴 일렉트릭 캄파
 니
 (뒷면에 계속)
 (74) 대리인
제일특허법인

전체 청구항 수 : 총 9 항

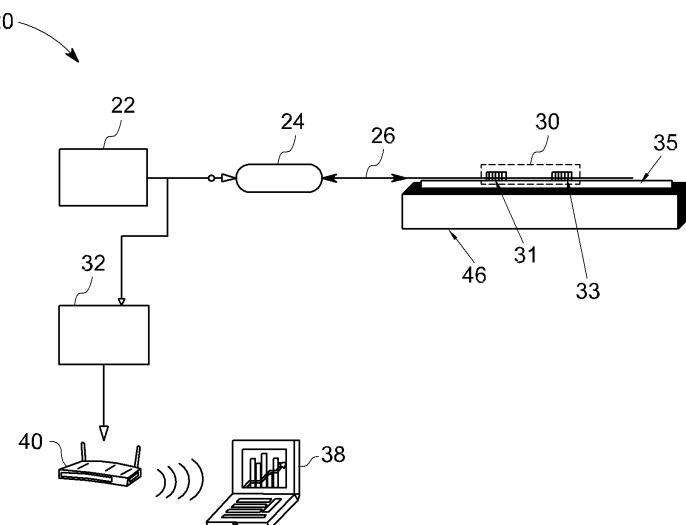
심사관 : 최종운

(54) 발명의 명칭 전기 장치 구성요소 감시 시스템 및 방법

(57) 요 약

전기 장치 구성요소 감시 시스템(20, 100)은 광 섬유 케이블(26, 107)을 통해 광 신호를 제공하는 광 소스(22, 101) 및 전기 장치 구성요소(46, 109)의 상태를 나타내는 반응 광 신호를 얻기 위해서 전기 장치 구성요소(46) 상이나 전기 장치 구성요소(109)로부터 스텠드오프(standoff) 거리에 위치하는 광 섬유 센싱 구성요소(30, 106)를 포함한다. 시스템은 또한 광 섬유 센싱 구성요소(30, 106)로부터 반응 광 신호를 수신하고 반응 광 신호를 전기 신호로 변환하기 위한 광검출기(32, 104) 및 전기 신호를 분석하여 전기 장치 구성요소(46, 109) 상의 오염 물에 관한 정보를 판단하도록 구성되는 프로세싱 회로부(38, 105)를 더 포함한다.

대 표 도 - 도1



(72) 발명자

부스붐 액셀

미국 뉴욕주 12309 니스카유나 케이1-3에이59 원
리서치 서클 글로벌 리서치 제너럴 일렉트릭 캄파
니

카민스키 크리스토퍼 안토니

미국 뉴욕주 12309 니스카유나 케이1-3에이59 원
리서치 서클 글로벌 리서치 제너럴 일렉트릭 캄파
니

명세서

청구범위

청구항 1

전기 장치 구성요소 감시 시스템(20, 100)에 있어서,

광 신호를 제공하는 광 소스(22, 101),

전기 장치 구성요소(46, 109)의 상태를 나타내는 반응 광 신호를 얻기 위해서 상기 전기 장치 구성요소(46) 상에(on) 또는 상기 전기 장치 구성요소(109)로부터 스탠드오프(standoff) 거리에 위치하는 광 섬유 센싱 구성요소(30, 106),

상기 광 섬유 센싱 구성요소(30, 106)로부터 상기 반응 광 신호를 수신하여 상기 반응 광 신호를 전기 신호로 변환하기 위한 광검출기(32, 104),

상기 광 소스(22, 101)로부터 상기 광 섬유 센싱 구성요소(30, 106)로 광 신호를 전송하고 상기 광 섬유 센싱 구성요소(30, 106)로부터 상기 광검출기(32, 104)로 상기 반응 광 신호를 전송하는 광 섬유 케이블(26, 107), 및

상기 전기 신호를 분석하여 상기 광 섬유 센싱 구성요소(30, 106)의 전송 손실의 크기 및 중심 파장 시프트에 기초하여 상기 전기 장치 구성요소(46, 109) 상의 오염물에 관한 정보를 판단하도록 구성되는 프로세싱 회로부(38, 105)를 포함하는

감시 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 프로세싱 회로부는 상기 전기 신호를 분석하여 상기 전기 장치 구성요소의 모션에 관한 정보를 더 판단하도록 구성되는

감시 시스템.

청구항 3

삭제

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 광 섬유 센싱 구성요소가 상기 전기 장치 구성요소 상에 위치할 때, 상기 광 섬유 센싱 구성요소는 장주기 격자(grating) 구조를 포함하며 주변 매질의 굴절률 변화에 반응하는

감시 시스템.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 광 섬유 센싱 구성요소가 상기 전기 장치 구성요소로부터 스탠드오프 거리에 위치할 때, 상기 광 섬유 센싱 구성요소는 오염물에 반응하는

감시 시스템.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 스탠드오프 거리는 오염물에 관한 정보를 판단하기 위해 상기 전기 장치 구성요소로부터의 유효 포인트(working point) 거리를 포함하는

감시 시스템.

청구항 7

제5항에 있어서,

오염물에 반응하는 상기 광 섬유 센싱 구성요소는 제1 스탠드오프 거리에 위치한 제1 광 섬유 센싱 구성요소를 포함하는

감시 시스템.

청구항 8

제7항에 있어서,

모션에 반응하는 제2 광 섬유 센싱 구성요소를 더 포함하며,

상기 제2 광 섬유 센싱 구성요소는 상기 전기 장치 구성요소로부터 상기 제1 스탠드오프 거리보다 짧은 거리에 위치하는 광 렌즈를 포함하는

감시 시스템.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 프로세싱 회로부는 상기 제2 광 섬유 센싱 구성요소로부터 상기 반응 광 신호의 고속 푸리에 변환(FFT)을 얻어 상기 모션에 관한 정보를 판단하는

감시 시스템.

청구항 10

전기 장치 구성요소(46, 109) 감시 방법(20, 100)에 있어서,

상기 전기 장치 구성요소(46, 109) 상에, 그리고 상기 전기 장치 구성요소(46, 109)로부터 스탠드오프(standoff) 거리에 위치하는 광 섬유 센싱 구성요소(30, 106)에 광 섬유 케이블(26, 107)을 통해 광 신호를 제공하는 단계(22, 101),

상기 광 섬유 센싱 구성요소(30, 106)로부터 상기 광 섬유 케이블(26, 107)을 통해 전송되는 반사 광 신호를 측정하는 단계(32, 104), 및

상기 반사 광 신호 분석하여 상기 광 섬유 센싱 구성요소(30, 106)의 전송 손실의 크기 및 중심 파장 시프트에 기초하여 상기 전기 장치 구성요소(46, 109) 상의 오염물에 관한 정보를 판단하는 단계(38, 105)를 포함하는

방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001]

본 발명은 일반적으로 전기 장치 구성요소의 무결성을 감시하기 위한 시스템 및 방법에 관한 것으로서, 특히 회전 장치의 엔드 권선 구성요소를 감시하기 위한 광 섬유 기반 시스템 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002]

증기 터빈이나 가스 터빈에 의해 구동되는 전기 발전기와 같은 회전 장치는 고정자 권선에 수천 암페어의 전류를 운반할 용량을 가진다. 일반적으로 고정자 권선은 고정자 코어 내 해당 슬롯에 고정되는 도전 막대들, 및 도전 막대들 사이를 연결하기 위해 고정자 권선 너머로 뻗쳐있는 엔드 권선(end windings)을 포함한다. 엔드 권선 구성요소들은 엔드 권선의 변위를 야기하는 전기동력 및 기계력 하에 놓이게 된다.

[0003]

느슨한 엔드 권선 구성요소들은 권선 절연 물질의 마모를 일으키는 전자기력으로 인해 서로에 대해 비비게 된다. 따라서, 유리, 운모, 수지, 및 페인트 같은 먼지가 엔드 권선 구성요소에 쌓일 수 있고, 발전기 오일과 섞여 엔드 권선 및 다른 엔드 권선 구성요소들 근처에서 그리스(grease)를 형성할 수 있다. 그리스는 보통 먼지와 발전기 오일 미스트의 혼합 비율에 의해 정해지는, 갈색에서 거뭇한 색으로의 가변 컬러를 가진다. 일부 상황에서는 엔드 권선을 청소하거나 엔드 권선 상의 손상된 절연 보호층을 교체하기 위해 예기치 않은 발전기의 동력정지가 필요하게 된다. 예기치 않은 동력정지는 전력 시스템의 가용성을 낮추고 불필요한 보수 비용을 높인다.

[0004]

발전기 엔드 권선의 느슨함은 기본적으로 먼지의 존재에 대한 시각적 검사로 진단된다. 그러나, 시각적 검사는 발전기가 운전 정지 상태가 될 것을 필요로 한다. 다른 대안적 검사 방법은 통상적으로 엔드 권선 상의 여러 위치에 배치되는 광 섬유 결합 가속기들을 사용해 전반적 엔드 권선 모션을 감시하는 동작을 포함한다. 광 섬유 결합 가속기들은 그러나 먼지 감시 기능을 제공하고 있지 않으며, 여러 위치(통상적으로 여섯 개의 위치)에 놓여져야 한다. 또 다른 가능한 검사 방법은 카메라 이미징 방법에 기초한 것인데, 이것은 모든 엔드 권선 위치들을 액세스하기가 어렵다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005]

따라서, 상술한 문제들 중 하나 이상에 대처하기 위해 개선된 전기 장치 구성요소 감시 시스템이 필요하다.

과제의 해결 수단

[0006]

본 발명의 실시예에 따라 전기 장치 구성요소 감시 시스템이 제공된다. 그 시스템은 광 섬유 케이블을 통해 광 신호를 제공하기 위한 광 소스 및, 전기 장치 구성요소 상에 위치하거나 전기 장치 구성요소로부터 스탠드오프(standoff) 거리에서 전기 장치 구성요소의 상태를 나타내는 반응 광 신호를 얻기 위한 광 섬유 센싱 구성요소를 포함한다. 광 섬유 센싱 구성요소로부터 반응 광 신호를 수신하고 그 반응 광 신호를 전기 신호로 변환하기 위한 광 검출기가 시스템 내에 제공된다. 시스템은 또, 전기 신호를 분석하여 전기 장치 구성요소 상의 먼지에 대한 정보를 판단하기 위한 프로세싱 회로부를 포함한다.

[0007]

본 발명의 또 다른 실시예에 따라 전기 장치 구성요소 감시 방법이 제공된다. 이 방법은 광 신호를 전기 장치 상으로 제공하는 단계, 및 전기 장치 구성요소 상에 위치하거나 전기 장치 구성요소로부터 스탠드오프 거리에 있는 광 섬유 센싱 구성요소로부터 반사된 광 신호를 측정하는 단계를 포함한다. 이 방법은 또, 반사된 광 신호를 분석하여 전기 장치 구성요소 상의 먼지에 대한 정보를 판단하는 단계를 포함한다.

발명의 효과

[0008] 본 발명은 회전 장치의 엔드 권선 구성요소를 감시하기 위한 광 섬유 기반 시스템 및 방법을 제공해준다.

도면의 간단한 설명

[0009] 이들 및 다른 본 발명의 특징, 양태, 및 이점은 이하의 상세한 설명을 첨부된 도면을 참조하여 파악할 때 보다 잘 이해될 수 있을 것이며, 도면 전체를 통하여 동일한 부호는 동일한 구성요소를 나타낸다.

도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 광 섬유 파장 다중화 방식 기반 엔드 권선 무결성 감시 시스템의 개략도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 광 섬유 격자 기반 감시 모듈의 개략도이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 광 섬유 격자 기반 감시 모듈의 파장 시프트에 대한 전송 변동의 그래프 표현이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 광 섬유 격자 기반 감시 모듈의 파장 시프트의 그래프 표현이다.

도 5는 광 섬유 격자 기반 감시 모듈로부터 측정된 전송 손실 변화의 그래프 표현이다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 또 다른 광 섬유 기반 엔드 권선 무결성 감시 시스템의 개략도이다.

도 7은 엔드 권선 구성요소로부터 광 섬유 센싱 프로브의 스탠드오프 거리 대비 반사 신호 크기 변동 곡선이다.

도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 세 개의 광 섬유 프로브 구조에 대한 개략적 표현이다.

도 9는 본 발명의 일 실시예에 따라 서로 다른 매질로부터의 반사 신호에 대한 그래프 표현이다.

도 10은 본 발명의 일 실시예에 따라 서로 다른 매질로부터 반복되는 반사 신호의 그래프 표현이다.

도 11은 이동 표면으로부터의 통상적 변위에 대한 그래프 표현이다.

도 12는 본 발명의 일 실시예에 따른 이동 표면에 대한 동적 응답의 주파수 응답 표현이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0010] 본 발명의 여러 실시예들의 구성요소들을 소개할 때, "한(a, an)", "그(the)", "상기(said)"라는 말은 하나 이상의 구성요소들이 존재함을 의미하는 것으로 사용된다. "구비한다", "포함한다", 및 "가진다"는 말은 포괄적인 것을 의도한 것으로, 나열된 구성요소들 외에 추가 구성요소들이 있을 수 있음을 의미한다.

도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 엔드 권선 구성요소 감시 시스템(20)의 개략도이다. 일반적으로 감시 시스템(20)은 광 커플러나 서클레이터(24)와 광 통신하는 튜닝형 혹은 광대역 광 소스 같은 광 소스(22)를 포함한다. 광 커플러(24)는 광 소스(22)로부터 전송된 광을 수신하고 그 광의 일부를 광 섬유 케이블(26)을 통해 전송한다. 광 섬유 케이블(26)을 통과한 광은 발전기나 모터 같은 전기 장치의 엔드 권선 구성요소(46)에 부착된 광 섬유 센싱 모듈(30)로 입력된다. 일 실시예에서, 발전기는 수소 냉각 발전기 또는 공기 냉각 발전기를 포함할 수 있다. 도 1에 도시된 실시예에서, 광 섬유 센싱 모듈(30)은 온도 센서로서 단주기의 광 섬유 브래그 격자(FBG(fiber Bragg grating))(31) 및 기름때 검출 센서로서 장주기의 격자(LPG)(33)를 포함한다. 또한 다른 실시예에서, 복수의 광 섬유 센싱 모듈(30)이 연쇄적으로 연결되고 상이한 구성요소의 위치들에 장착될 수 있다. 기름때는 발전기 오일, 먼지 및 오일 혼합물(그리스)을 포함할 수 있다. 기름때는 뜨거운 곳에서 연소된 폴리머 입자들에서 유발된 입자들이나 마모된 권선 절연체로부터 비롯된 입자들을 더 포함할 수 있다. 일 실시예에서, 통상적으로 ~0.5 미크론 주기를 가진 단주기 FBG(fiber Bragg grating)(31), 및 통상적으로 100-600 미크론의 주기를 가진 장주기 격자(LPG)(33)가 엔드 권선 구성요소(46)에 부착된 섬유 글래스 플레이트 또는 어떤 전기적 절연 물질 플레이트(35) 상에 패키징된다.

[0012] 광 섬유 센싱 모듈(30)에 의해 반사된 광의 일부가 광 섬유 케이블(26)을 거쳐 광 검출기(32)에 의해 수신된다. 일 실시예에서, 각각의 광 섬유 격자의 중심 파장을 통해, 반사되거나 전송된 여러 신호들을 탐문하기 위한 광 다중화 방식이 사용될 수 있다. FBG(31)의 중심 파장은 아래의 식에 의해 주어지는 발전기 내부 온도와 선형 관계인 브래그(Bragg) 공진 파장이다:

수학식 1

[0013] $\lambda = 2 \cdot n \cdot \Lambda; \quad (1)$

수학식 2

[0014] $\Delta\lambda(t) = \kappa \cdot \Delta T \quad (2)$

[0015] 여기서 n 은 광 섬유 코어(도 2에 도시됨)의 유효 굴절률이고, Λ 는 주기이며, κ 는 약 10-12pm/°C의 값을 가진 온도 감도이다. 마찬가지로 LPG(33)에 있어서, 공진 파장은 아래와 같이 주어진다.

수학식 3

[0016] $\lambda = [n_{core} - n_{clad,i}] \Lambda \quad (3)$

[0017] 여기서 n_{core} 는 광 섬유 코어의 유효 굴절률이고, $n_{clad,i}$ 는 광 섬유 클래딩(cladding)에서 i 번째 클래딩 모드의 굴절률이다. 발전기 내부 온도 변동으로 인한 상대적 파장 시프트는 아래와 같이 주어진다.

수학식 4

[0018] $\Delta\lambda = \zeta \cdot \Delta T \quad (4)$

[0019] ζ 는 LPG(33)의 온도 감도이며, 그 값은 약 50-80pm/°C이다. 따라서, 주변 온도가 변할 때 수학식 2 및 수학식 4는 기름때로 인한 파장 시프트 변화를 판단하는 것을 돋는다.

[0020] n_s 로 주어진 주변 매질 굴절률이 변할 때, 그에 따른 파장 시프트는 다음과 같이 근접 산출될 수 있다:

수학식 5

[0021]
$$\Delta\lambda \approx \frac{u^2 \lambda_0^3 \Lambda}{8 \pi^3 r \cdot n_{clad}} \left[\frac{1}{\sqrt{(n_{clad}^2 - n_{core}^2)}} - \frac{1}{\sqrt{(n_{clad}^2 - n_s^2)}} \right]; \quad (5)$$

[0022] 여기서, n_{clad} 는 광 섬유 클래딩 굴절률이고, n_{core} 는 광 섬유 코어 굴절률이고, n_s 는 주변 매질 굴절률이고, u 는 광 섬유 물질의 정규화된 탄성장 진폭이고, λ_0 는 중심 파장(통상, 약 1550nm임)이고, r 은 광 섬유 반지름이다. LPG(33)의 전송 프로파일 역시 외부 매질 굴절률에 따라 가변된다는 것을 알아야 한다.

[0023] 따라서, 광 검출기(32)에 의해 검출되는 반사 광 신호의 크기는 엔드 퀸션 구성요소(46)의 상태나 광 섬유 센싱 모듈(30) 상의 기름때에 좌우된다. 예를 들어, 기름기 없는 표면과 비교할 때 기름기가 있는 표면의 굴절률은 상이할 것이다. 광 검출기(32)에 의해 생성되어 변환된 광 신호(또는 "전기 신호")는 데이터 포착 유닛(38)으로 전송된다. 광 소스(22) 및 광 디텍터(32)는 발전기 내부나 외부에 위치될 수 있다. 일 실시예에서, 무선 인터페이스(40)가 데이터 포착 유닛(38)으로 전기 신호를 전송하며, 데이터 포착 유닛(38)은 발전기 엔드 퀸션(34)의 무결성을 감시하기 위해 그 전기 신호를 사용한다. 다른 실시예에서, 데이터 포착 유닛(38)으로 전기 신호를 전송하는데 이더넷 케이블이 사용될 수 있고, 데이터 포착 유닛(38)은 발전기 엔드 퀸션(34)의 무결성을 분석하기 위해 그 전기 신호를 사용한다. 일 실시예에서, 데이터 포착 유닛(38)은 기름때의 존재를 검출한다.

다른 실시예에서, 데이터 포착 유닛(38)은 이하의 식에 의해 주어지는 FBG의 반사 피크 전력 파장에 기초해 엔드 권선 상의 동적 스트레인(dynamic strain) 성분의 존재를 검출한다.

수학식 6

$$f = FFT(\Delta\lambda(t)) \quad (6)$$

[0024] 여기서 120Hz의 엔드 권선 기본 모드 및 상위 모드가 동시에 검출될 수 있다.

[0025] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 광 섬유 격자 기반 감시 모듈(30)을 보인다. 센싱 모듈(30)은 중심 광 섬유 코어(50), 단주기 광 섬유 브래그 격자(FBG)(52), 장주기 격자(LPG)(54) 및 광 섬유 클래딩(56)을 포함한다. 일 실시예에서, 중심 광 섬유 코어(50)는 이산화계르마늄(GeO₂)이나 불소(F) 동시 도핑(co-doped) 실리카를 포함하고 약 5 미크론에서 약 9 미크론의 범위 안에 있는 직경을 가진다. 또, 10 내지 20 미크론 두께의 폴리이미드(polyimide) 코팅층이 격자 영역을 보호하는데 사용될 수 있다. FBG(52)는 발전기 내부 구성요소의 기준 온도와 실시간 변동을 또한 판단하는데 사용되므로 센서 기준 변동을 정정하는데 이용될 수 있다. FBG는 ~0.3 nm의 좁은 대역폭을 가지며, LPG는 10~20 nm의 전송 딥(dip)을 가진다. 일 실시예에서, 각 센싱 모듈은 15 mm 길이의 LPG와 5 mm 길이의 FBG를 10 mm 분리해 세김으로써 디자인된다. LPG 구조(54)는 약 100 미크론에서 약 600 미크론의 피치 사이즈를 가지고 길이 방향 축(51)을 따라 변조한다. LPG 구조(54)는 자명하거나 공표된 굴절률을 변조 프로파일을 가진 광 섬유 클래딩(56)의 모드로 기준 모드 에너지를 효과적으로 발산하도록 구성된다. 일 실시예에서, 주변 매질의 굴절률이 광 섬유 클래딩(56)의 굴절률과 상이할 때, 전달된 유도파가 전파되고 부분 에너지가 광 섬유 클래딩(56)이나 외부의 주변 매질로 연결된다. 광 섬유 클래딩(56)은 광 섬유 코어(50) 주위를 둘러 배치되고, 일 실시예에서 약 125 미크론의 외경을 가진 순수 실리카 또는 불소 도핑된 실리카를 포함한다.

[0026] 도 3은 파장 시프트에 대한 도 1의 광 섬유 센싱 모듈의 전송 응답 그래프를 보인다. 수평 축(62)은 나노미터 단위의 파장 시프트를 나타내며, 수직 축(64)은 테시벨 밀리와트(dBm) 단위의 전송 응답 크기를 나타낸다. 곡선(66)은 대기 상에서의 광 섬유 센서의 전송 응답에 대한 것이다. 곡선(68)은 발전기 오일 내 광 섬유 센서의 전송 응답에 대한 것이다. 각기 FBG 및 LPG 구조로 인해 두 곡선(66 및 68) 모두 응답에 있어서, 곡선 66의 70, 72와 곡선 69의 74, 76의 두 개의 딥(dip)을 가진다. 광 섬유 클래딩의 굴절률이 거의 1.46에 가깝고 발전기 오일의 굴절률은 약 1.6이기 때문에, LPG 전송 스펙트럼은 약동적으로 시프트하는 한편, FPG 전송 스펙트럼은 외부의 굴절률 변동에 대한 FBG의 무반응성으로 인해 전혀 시프트하지 않는다.

[0027] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따라 엔드 권선 구성요소에 부착된 광 섬유 센싱 모듈의 파장 시프트 곡선(80)을 보인다. 곡선(80)은 도 1에 기술된 광 섬유 센싱 모듈(30)에 대한 것이다. 곡선(80)으로부터, 엔드 곡선 무결성 감시 센서로서 센서 응답 파장 시프트 크기가 약 1534 nm에서 약 1560 nm 까지 증가함을 알 수 있다. 표면이 공기로 둘러싸일 때 LPG 센서의 중심 파장은 1534 nm 상에 위치하는 반면에 LPG 중심 파장이 156 nm로 시프트하는 것은 발전기 엔드 권선 구성요소 상에 발전기 오일이 존재함을 가리킨다. 따라서, 발전기 오일은 광 섬유 클래딩의 굴절률보다 높은 굴절률로 인해 약 26 nm의 파장 상향 시프트를 유발한다. 반대로, 유체나 오일의 낮은 굴절률은 광 섬유 센서의 하향 시프트를 일으킬 수 있을 것이다. 이러한 파장 시프트 응답을 이용해 오일 미스트, 및 시간에 종속되는 그리스 형성 및 축적을 양적으로 분석하기 위해 충분한 감도를 제공하는 것이 가능하다.

[0028] 도 5는 엔드 권선 구성요소에 부착되는 광 섬유 센싱 모듈의 전송 크기에 대한 곡선(90)을 보인다. 곡선(90)으로부터 전송 크기가 약 -29 dBm에서 약 -36 dBm로 감소한 것을 알 수 있다. 사라진 ~7 dBm의 전송 폭은 발전기 엔드 권선 구성요소 주변의 공기 같이 높은 굴절률의 유체나 수성 물질의 존재를 가리킨다. 따라서 광 센서 전송 응답은 광 섬유 클래딩 주변 매질 굴절률이 n~1(공기)부터 n~1.6(오일)까지 변할 때 공기에서 발전기 오일까지 약 7 dBm가 된다. 파장 시프트와 전송 손실을 결합함으로써 오일, 그리스 및 다른 입자들과 오일의 수성 혼합물에 대한 정확한 판단이 이뤄질 수 있다. 또한, FBG의 반사 피크 파장이 수학식 6에 기술된 것 같은 고속 푸리에 변환을 통해 엔드 권선 동적 스트레인(strain) 분석에 사용될 수 있다.

[0029] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 또 다른 광 섬유 반사 기반 엔드 권선 구성요소 감시 시스템(100)을 예시한다. 시스템(100)은 레이저 소스(101), 제1광 스플리터(102), 광 커플러(103), 및 광 검출기 어레이(104)를 포함한다. 시스템은 광을 복수의 광 섬유 센싱 프로브(106)를 거쳐 엔드 권선 구성요소(109) 상의 여러 지점들로

전달하게 할 여러 광 섬유 케이블(107)을 더 포함한다. 시스템(100)은 또한 디지털-아날로그 변환기 및 데이터 포착 모듈을 가진 프로세싱 회로부(105)를 포함한다. 일 실시예에서, 하나의 광 섬유 케이블에 대해 레이저 소스(101)로부터 광 섬유 번들로의 직접 광 결합은 FC/UPC 또는 SMA 905 커넥터를 이용해 구현될 수 있다. 한 광 소스로부터 나온 광은 제2광 스플리터(108)를 이용해 엔드 권선 구성요소(109) 상의 여러 지점들을 비추기 위해 여러 광 섬유(107) 안으로 분리될 수 있다. 제1광 스플리터(102)는 레이저 소스로부터 나온 광 신호를 두 신호로 분리하는데, 한 신호는 광 검출기 어레이(104)로 가는 기준 신호이고, 다른 한 신호는 광 커플러(103)를 통해 제2광 스플리터로 가는 신호이다. 일 실시예에서, 여러 반사 신호를 탐문하는데 시간 분할 다중화, 과장 다중화, 또는 광 스위칭 방식이 사용될 수 있다. 다른 실시예에서, 두 광 범의 분리 비율은 1/99에서 5/95까지의 범위에 있다. 제2광 스플리터(108)는 $1 \times N$ 의 길이를 가지며, N 은 센서 프로브의 개수이다. 제2광 스플리터는 광 신호를 N 개의 스플릿 광 신호로 똑같이 분리하며, 분리된 각 광은 각 광 섬유 프로브로 보내지고, 이때 각 광 섬유 프로브에서는 엔드 권선 구성요소(109)로부터 반사된 신호가 광 검출기 어레이(104)로 다시 보내진다. 광 검출기(104)에 의해 생성되어 변환된 광 신호(또는 "전기 신호")는 프로세싱 회로부(105)로 전송된다. 전기 신호는 표류(drifting) 및 광 소스 저하를 억제하기 위해 제1광 스플리터로부터의 기준 신호를 이용해 디지털 신호로 변환된다.

[0031] 일 실시예에서, 프로세싱 회로부(105)는 기름때 뿐 아니라 먼지, 오일 및 그리스 같이 기름때가 아닌 것의 존재 및, 전기 신호의 값을 프로세싱 회로부(105)의 메모리에 저장된 동적 범위 데이터와 비교함으로써 엔드 권선 구성요소 상의 모션의 존재도 검출한다. 여러 지점들에서 엔드 권선 무결성은 동시에 혹은 개별적으로 감시될 수 있다. 다른 실시예에서, 광 섬유 센싱 프로브(106)는 오염물에 반응하거나 먼지, 발전기 오일, 먼지와 오일 혼합물(그리스)를 식별하면서 온도, 압력, 및 수소 냉각 가스 흐름의 변동에는 반응하지 않도록 기능화된다. 일 실시예에서, 광 섬유 센싱 프로브(106)는 외부 매질의 굴절률이 변할 때 그에 따라 광 방출이 반사 크기를 변조시키도록 하는 화학적 반응 표면을 가진 것으로 제조됨으로써 기능화된다.

[0032] 구성요소(109)로부터의 케이블 거리 및 소정 조건에 대해 소정 크기의 전기 신호가 예상됨을 나타내는 테이블이 생성될 수 있다. 예를 들어, 광 섬유 센싱 프로브의 기능화 및 케이블과 엔드 권선 구성요소 사이의 거리에 기반하는 일 실시예에서, 전기 신호 크기가 3.8V이면 오일이 존재함을 나타낼 수 있고, 반면에 전기 신호 크기가 4V이면 공기가 존재함을 가리킨다. 저장되는 데이터는 알려진 오염물 상태를 이용해 미리 수행되는 실시간 동작의 전기 신호 구경측정(calibration) 실험으로부터 얻어진다. 프로세싱 회로부(105)는 이때 실시간 동작 중의 오염물 관련 파라미터의 존재를 디스플레이한다. 다른 실시예에서는 단순히 전기 신호의 곡선이 디스플레이되고 그에 따라 오염물의 존재는 전기 신호의 크기로부터 수동적으로 확인된다. 오염물이 존재하지 않을 때 반사도는 일정하게 유지되지만, 외부 매질 굴절률의 변화에 따라 반사도가 감소하거나 증가될 수 있다. 모션 검출은 도 11 및 12에 대해 이하에서 상세히 기술되는 바와 같이 무결성이 감시되어야 하는 엔드 권선 섹션의 한 영역으로부터 데이터를 얻음으로써 구현될 수 있다.

[0033] 도 7은 프로브 팁(tip)과 엔드 권선 구성요소(수평 축) 사이의 거리 D 에 대한 반사 신호 크기의 변동(수직 축) 곡선(110)을 보인다. 엔드 권선 구성요소 모션을 감시할 때, 엔드 권선 구성요소로부터 일정 거리("스탠드오프(standoff) 거리")에 있는 범위에 무감한 위치에 광 섬유 센싱 프로브를 위치시키는 것이 유용하다. 최대 반사 신호 크기 R_o 는 "유효 포인트(working point)" 거리로 정의되는 소정 스탠드오프 거리 d_0 에서 생긴다. 이 곡선으로부터, 다른 스탠드오프 거리를 선택하여 신호 크기가 변경될 수 있다는 것을 알 수 있다. 최소 신호 크기에 있는 신호는 작은 거리 변동에 대해 반응성이 없으며, 어떤 신호 변화는 재료 반사나 흡수도 변화를 센싱한 것에서 비롯될 수 있다. 따라서, 일 실시예에서 광 섬유 센싱 프로브(106)는 오염물의 존재를 판단하기 위해 엔드 권선 구성요소(109)로부터의 광 스캐터링 신호들을 수신하는 유효 포인트 거리에 해당하는 발전기 엔드 권선으로부터의 스탠드오프 거리에서 셋업된다

[0034] 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따라 엔드 권선 구성요소를 감시하는데 사용될 수 있는 서로 다른 타입의 세 광 섬유 센싱 프로브(180, 200, 및 220)를 보인다. 광 섬유 센싱 프로브(180, 200 및 220) 각각은 광 신호를 엔드 권선 구성요소(184) 및 프로브 하우스(186, 206 및 226)와 각기 송수신하기 위한 광 섬유 케이블(182)을 포함한다. 이때 엔드 권선 구성요소(184) 상의 오염물이나 모션의 존재를 판단하기 위해 반사 광 신호가 분석된다. 광 섬유 케이블(132)과 함께 프로브 하우스(186, 206, 및 226)의 적절한 밀봉을 유지하기 위해 압력 밀봉 피드스루(pressure sealing feedthrough)(188)가 활용될 수 있다. 모든 프로브 하우스(186, 206 및 226)는 측정될 구성요소로부터 스탠드오프 거리에 위치되는 투명 윈도(190, 210 및 230)를 포함하며; 프로브 하우스(206 및 226)는 각기 렌즈(208 및 228)를 포함한다. 광 센싱 프로브(180)는 프로브 하우스(186) 내부에 아무 렌즈도 갖지 않는다. 광 프로브(180)의 출력은 측정될 구성요소 위에도 쌓여 있는 오염물을 나타내는 것으로, 윈도 표

면(190) 상에 쌓인 오염물을 측정하는데 주로 사용되는 방사 빔이다. 반사성의 광 특성에 따라, 검출된 반사율은 원도 표면 상의 중심 영역에 있는 오일, 오일과 먼지 혼합물, 또는 먼지를 식별하는데 사용될 수 있다. 이 경우, 광 섬유 프로브는 알맞은 지지 구조와 함께 제공되고 먼지, 그리스, 또는 입자를 누적할 가능성이 큰 장소 근처에 인스톨된다.

[0035] 센싱 프로브(200) 내 광 렌즈(208)는 평행(collimated) 빔을 출력하고, 그 평행 빔은 엔드 권선 구성요소 표면의 소정 영역을 감시하는데 사용된다. 평행 빔의 한 가지 이점은 센싱 프로브(200)가 표면(184)으로부터 더 먼 거리에 위치될 수 있다는 데 있다. 센싱 프로브(220)의 광 렌즈(228)는 발전기 구성요소 표면 상에 집중(focused) 빔을 출력하며 엔드 권선의 느슨함과 모션 검출에 주로 사용된다. 먼지와 모션 검출 모두를 위해 볼록 플라토(convex-plato) 광 렌즈를 유효 포인트 거리에 세팅하는 것도 가능하다. 일 실시예에서, 스탠드오프 거리 D는 엔드 권선 구성요소 표면으로부터의 신호 대 잡음비를 산출함으로써 결정될 수 있다. 일 실시예에서, 스탠드오프 거리 범위는 이를테면 0.1 미터에서 0.5 미터까지일 수 있다. 프로브(220) 내 스탠드오프 거리 D는 동적 변위나 모션에 반응성이 높은 광 렌즈의 포커스 길이에 의해 판단된다. 다른 실시예에서 집중 빔 타입 프로브의 스탠드오프 거리는 평행(collimated) 프로브의 스탠드오프 거리보다 짧다. 더 구체적인 실시예에서, 집중 빔 타입 프로브와 측정될 구성요소 사이의 거리는 유효 포인트 거리의 절반, 또는 $d_0/2$ 가 된다. 광 섬유 센싱 프로브의 하우징은 예로 들 목적으로 보여진 것이다. 일부 실시예에서, 광 섬유 센싱 프로브(180, 200 및 220)는 다른 타입의 패키징을 써서 이용될 수 있다.

[0036] 도 8에 도시된 실시예에서, 광 섬유 케이블(182)은 지지 구조나 유전체 물질 폐를(ferrule)로 둘러싸인, 광 입사 및 광 반사용 복수의 광 섬유를 포함할 수 있다. 일 실시예에서, 유전체 물질 폐는 플라스틱 폐, 실리콘 모노코일, 또는 PVC(polyvinyl chloride) 모노코일을 포함한다. 전형적으로 사용되는 광 섬유 케이블 동축 프로브 구성은 레이저 전달을 위한 한 개의 중심 광 섬유, 및 반사광 가져오기를 위해 중심 광 섬유를 둘러싼 여섯 개의 광 섬유를 가진다. 다른 H 프로브 구성에서, 입사 광 섬유들이 프로브 공간의 반을 차지하며, 수신 광 섬유들이 프로브 공간의 나머지 절반을 차지한다. 광 섬유 센싱 프로브(180, 200 및 220)는 먼지, 오일, 및 먼지와 오일 혼합물(그리스) 같은 오염물을 식별하고 온도, 압력, 및 수소 냉각 가스 흐름에는 반응하지 않도록 하는 화학적 반응성의 원도 클래스를 이용해 기능화될 수 있다. 일 실시예에서 입사 광 소스는 471 nm, 532 nm, 및 671 nm의 레이저 빔을 택일적으로나 동시적으로 방출할 수 있는 RGB 레이저를 포함할 수 있다. 먼지, 오일, 및 먼지와 오일 혼합물(그리스) 같은 오염물을 식별하기 위해 그러한 괴장들로부터의 반사 신호 구분을 활용할 수 있다. 다른 실시예에서, 광 소스는 단일 주파수 광 소스이거나 멀티-파장 광대역 광 소스를 포함한다.

[0037] 도 9는 엔드 권선 구성요소 상의 오일, 먼지, 및 오일/먼지 혼합물에 대한 광 섬유 프로브 응답에 대한 곡선(120)을 보인다. 평행 축(122)은 시간에 따른 측정 시퀀스를 나타내고, 수직 축(124)은 광 검출기 신호로부터의 반사 신호나 전기 신호를 볼트 단위로 나타낸다. 앞서 기술된 바와 같이, 오염물의 존재를 판단하기 위해, 전기 신호를 산출할 때 사용하기 위한 값들이 미리 실험적으로 얻어질 수 있다. 오염물의 존재가 측정될 엔드 권선 구성요소는 먼저 깨끗한 원도 표면을 포함했다. 따라서, 곡선(120)은 약 4 V의 반사 신호를 보이며, 이것은 기준으로서, 오염물이 존재하지 않음을 나타낸다. 발전기 오일 몇 방울이 원도 표면에 주어질 때, 반사 신호 크기는 약 3.79 V로 감소되며, 이것은 엔드 권선 상에 오일이 존재함을 가리킨다. 신호 손실은 오일에 의해 산란된 스캐터링(scattering)에서 비롯된다. 마찬가지로, 추가로 먼지가 원도 표면에 부착될 때, 반사 신호 크기는 3.54 V로 떨어지는데, 이것은 오일과 먼지의 혼합물이 존재함을 가리킨다. 약 140 초에서, 반사 신호 크기가 5.740 V로 뛰며, 이것은 엔드 권선 상에 상당한 먼지가 존재함을 가리킨다. 따라서, 반사 신호가 먼지, 오일, 및 오일/먼지 혼합물에서 상당한 차이를 보인다는 것을 알 수 있다. 곡선(120)에서 보여진 데이터는 동일한 장소에서 수동적으로 여러 오염물 상태를 가변시켜 얻었다. 여기서 신호 크기는 상대적이며, 광 반사도 측정에 정규화가 이용될 수 있다. 정규화된 신호는 발전기 오일, 오일 미스트, 먼지, 및 그리스 등에 따라 조정될 수 있을 것이다.

[0038] 도 10은 오일, 오일 미스트, 먼지, 및 오일/먼지 혼합물 같은 상이한 매질로부터 광 섬유 센싱 프로브의 반복되는 반사 신호의 곡선(130)을 보여준다. 곡선(130)으로부터, 먼지와 공기 또는 오일과 공기 또는 심지어 공기와 오일/먼지 혼합물이 있더라도 광 섬유 프로브가 빠르고 또 정확하게 반응한다는 것을 알 수 있다.

[0039] 도 11은 10 미크론의 통상적 변위를 가진 이동 표면으로부터 측정된 동적 변위 데이터(150)를 보인다. 엔드 권선 구성요소에 모션이 존재할 때 반사 신호는 AC 성분을 가질 것이고, 상술한 바와 같이 모션의 존재를 판단하기 위해 반사 신호의 FFT가 수행될 수 있다. 동적 변위 데이터(150)는 무결성이 감시되어야 하는 엔드 권선 색

션의 한 영역으로부터 미크론 단위의 실제 모션을 나타낸다. 엔드 권선 섹션으로부터의 작은 변위 신호는 반사된 "DC" 전기 신호에 "AC" 성분을 더한다. 그런 다음 전기 신호의 고속 푸리에 변환(FFT)을 취하여 엔드 권선의 동적 양태가 산출된다. 다른 대안으로서, 시간 파형의 일부 중 최대치와 최소치 사이의 차이로서 피크-투-피크(peak-to-peak) 동적 변위가 산출될 수 있다. 산출된 권선 모션은 발전기 엔드 권선의 느슨한 상태와 추가로 관련될 수 있다.

[0040] 도 12는 전기 신호의 FFT 곡선(160)을 보인다. 곡선(160)은 제1이동 모드로서 120 Hz 전기 신호의 FFT로부터 판단된 주파수 성분들을 보인 것으로, 500 Hz 까지의 몇몇 상위 모드들도 명확하게 보여질 수 있다(또한 상위 모드들은 통상적으로 발전기 환경에 존재함). 이러한 모션 검출의 예에서, 앞서 기술한 바와 같이 모션 센싱 분석에 사용되는 광 섬유 센싱 프로브는 유효 포인트 거리의 절반에 위치할 수 있다.

[0041] 상술한 감시 시스템의 장점들 중 하나가 하나의 광 섬유 센싱 시스템을 이용해 오일, 먼지, 그리스, 및 모션을 동시에 감시함으로써 발전기나 모터 같은 전기 장치의 엔드 권선의 무결성이 판단될 수 있다는데 있다. 이 시스템의 또 하나의 장점은 수소 가스, 압력, 온도, 및 흐름 변동에 반응하지 않는 무결성 감시를 가능하게 한다는 것이다. 이 감시 시스템의 또 다른 장점은 발전기 압력 도관의 내부나 외부에 배치될 수 있다는 데 있다. 또, 여기 개시된 실시예들은 발전기 엔드 권선을 기술하고 있지만, 본 발명의 실시예들은 어떤 다른 전기 장치 구성요소를 감시하는 용도로 사용될 수 있다. 소정 실시예에서는 적용예에 따라 광 섬유 센싱 프로브가 금속이나 세라믹 물질로 만들어질 수 있다. 프로브 하우스 윈도 플레이트가 동적 압력 검출을 위한 다이어프램으로서 사용될 수 있다. 또한 그 윈도 플레이트 위에 화학적 활성층이 수분, 독성 가스 및 부식 검출에 사용될 수 있다.

[0042] 여기서는 본 발명의 소정 특징들만을 예시하고 기술하였으나 이 분야의 숙련자들이라면 여러 변형 및 변경 버전들을 상기할 수 있을 것이다. 따라서 첨부된 청구범위가 그러한 모든 변형 및 변경 버전들을 본 발명의 진정한 개념 안에 들어오는 것으로 포괄하도록 되어 있다는 것을 알아야 한다.

부호의 설명

[0043] 20, 100: 전기 장치 구성요소 감시 시스템

22, 101: 광 소스

26, 107: 광 섬유 케이블

30, 106: 광 섬유 센싱 구성요소

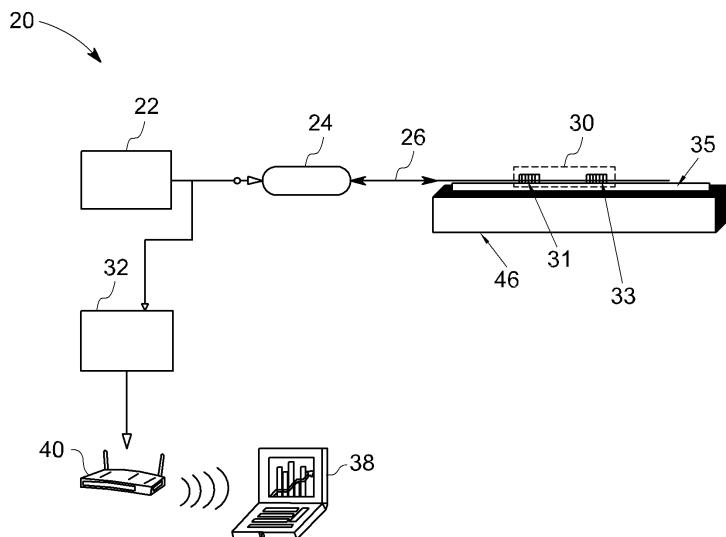
32, 104: 광검출기

38, 105: 프로세싱 회로부

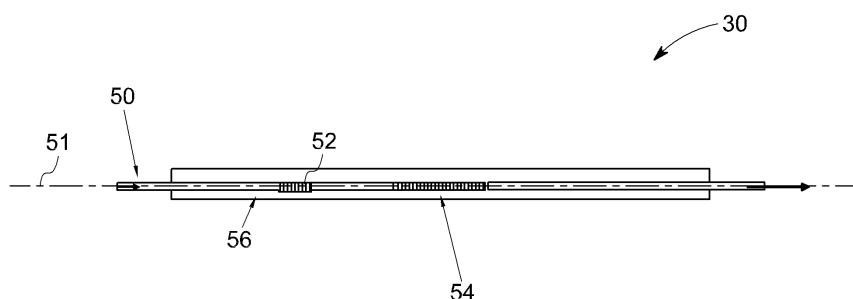
46, 109: 전기 장치 구성요소

도면

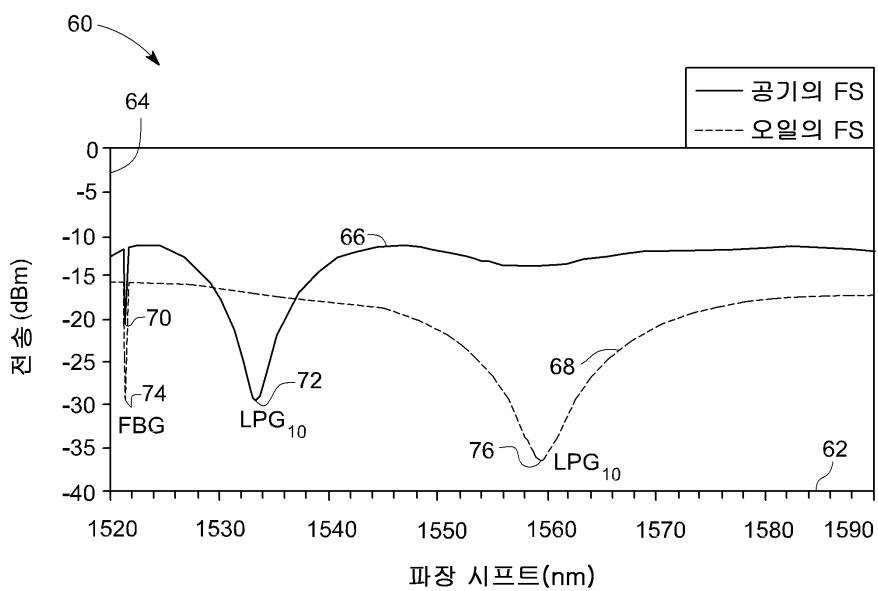
도면1



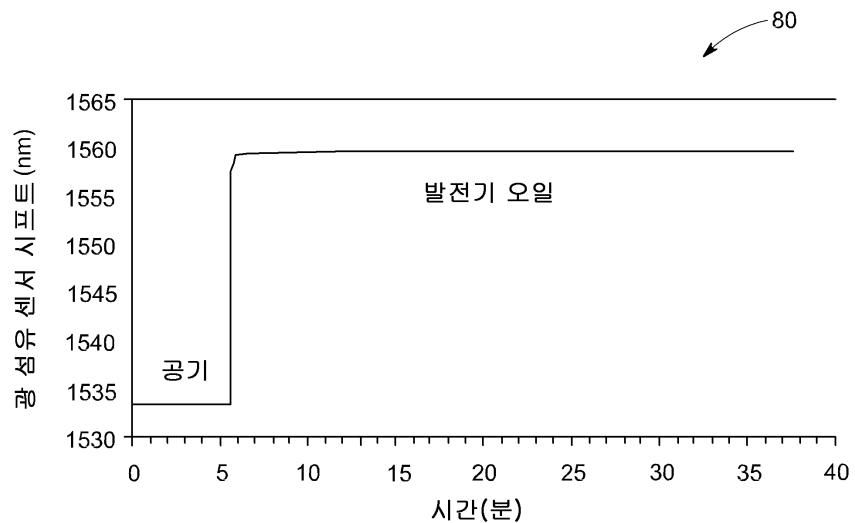
도면2



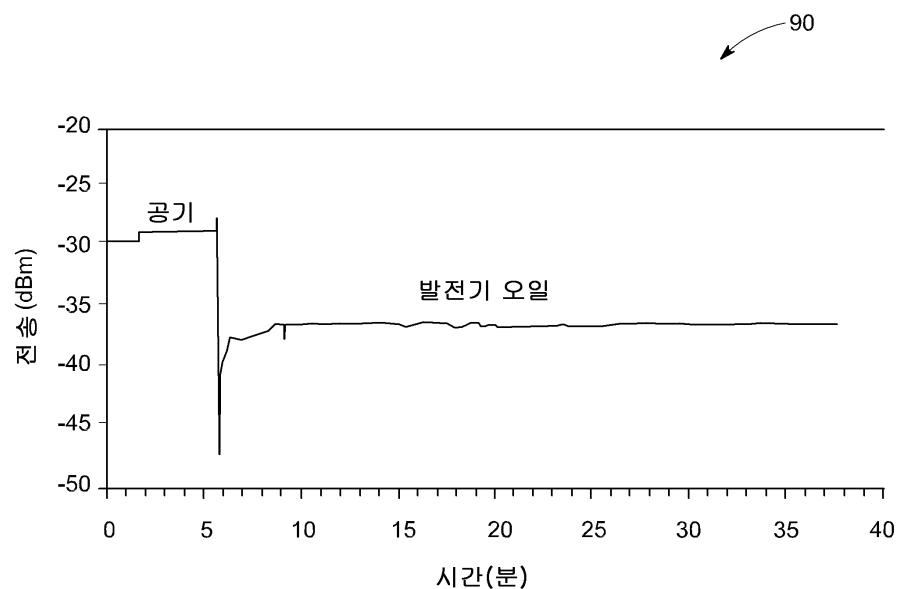
도면3



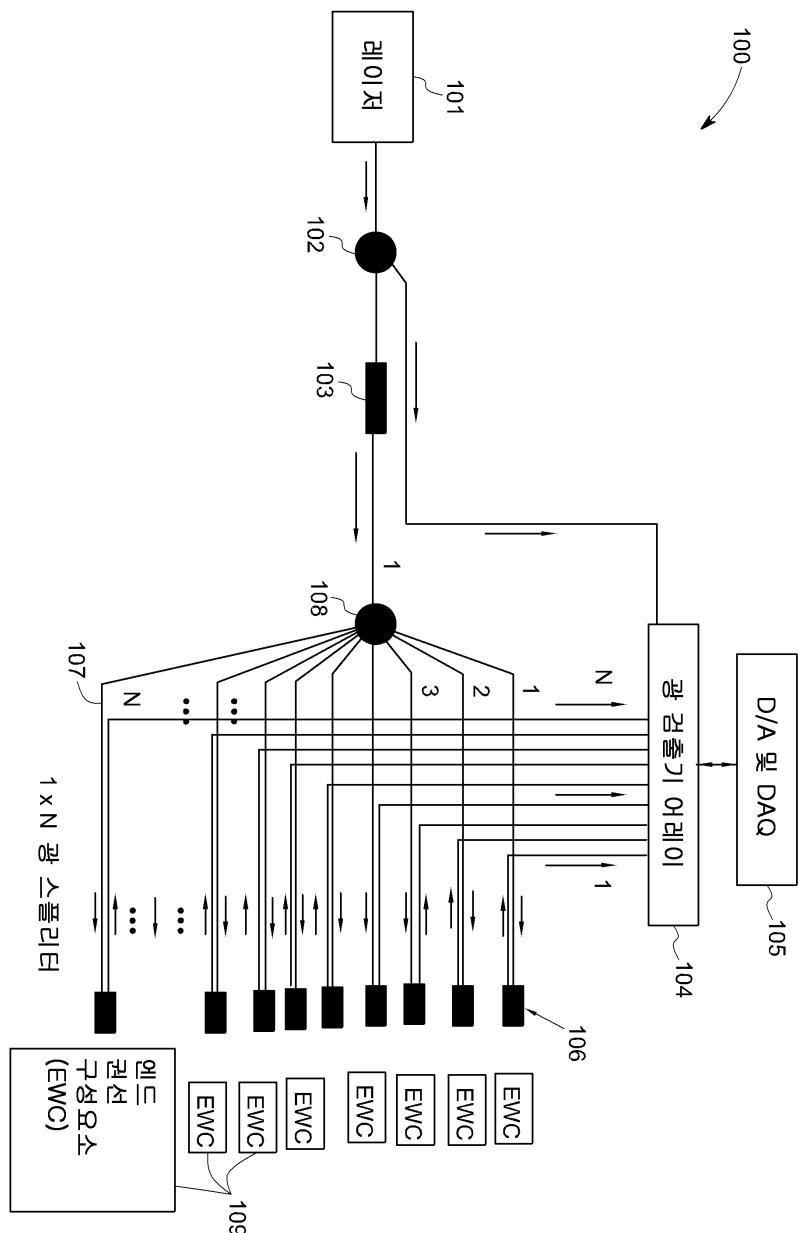
도면4



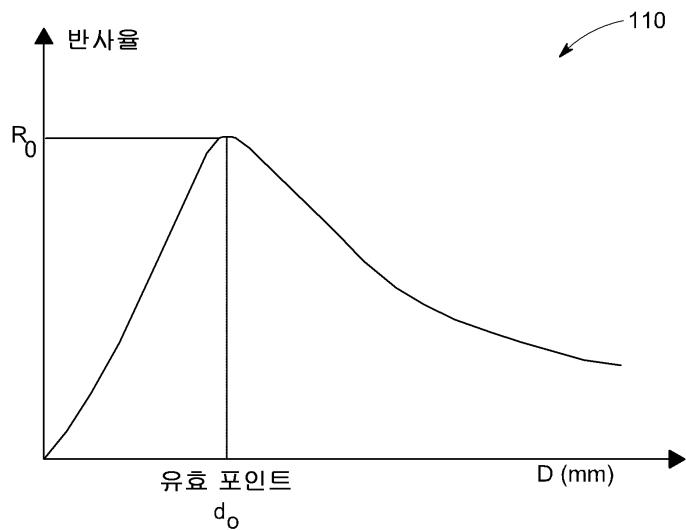
도면5



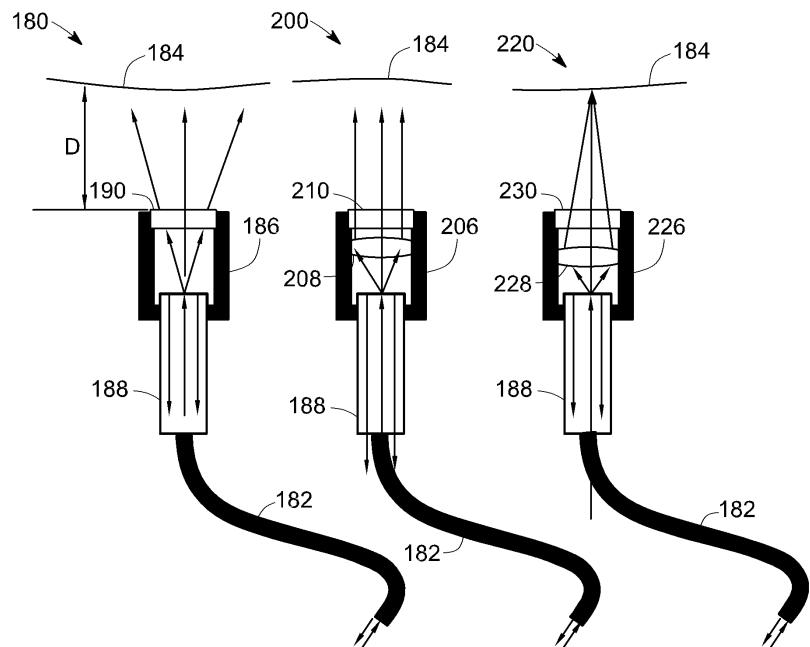
도면6



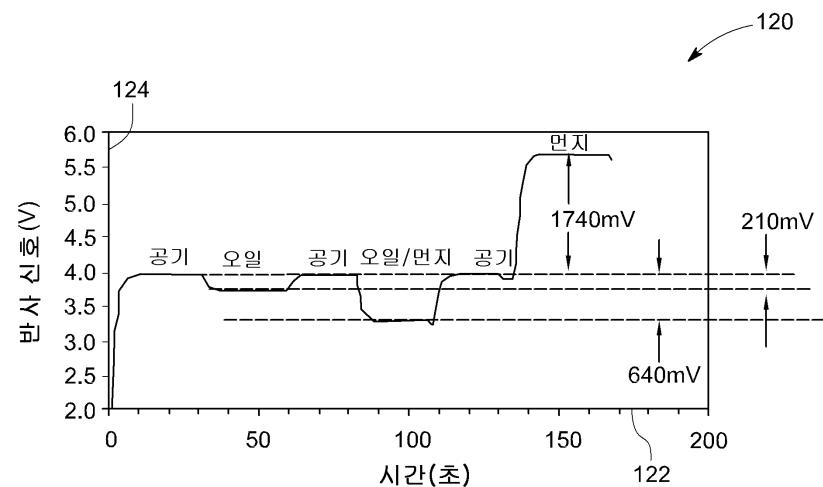
도면7



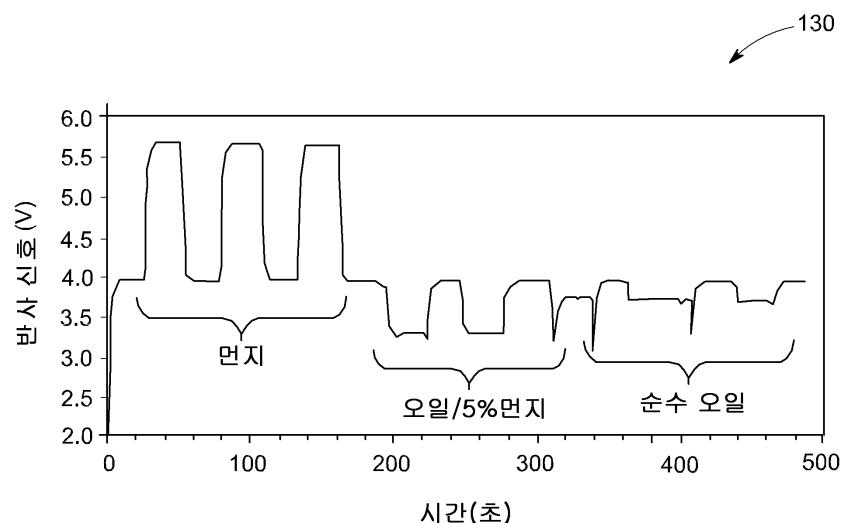
도면8



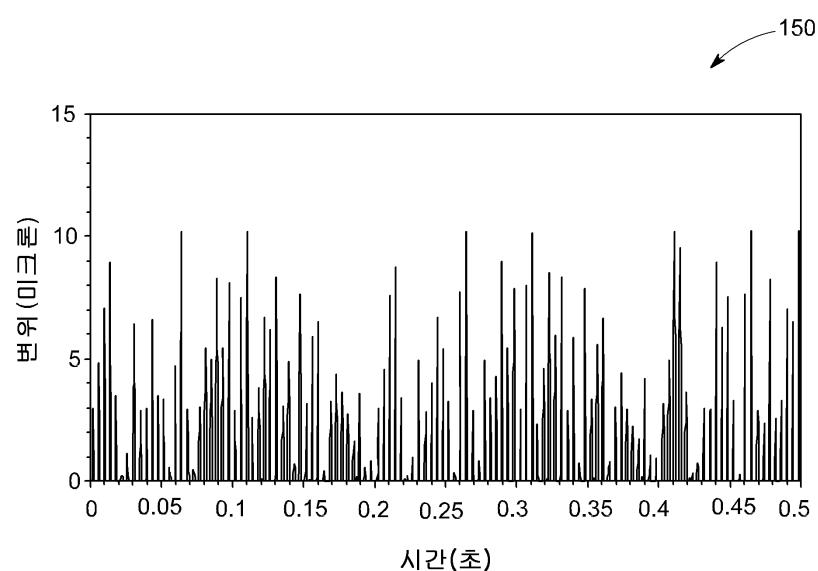
도면9



도면10



도면11



도면12

