

(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 특허공보(B1)

(51) Int. Cl.<sup>5</sup>  
G01J 9/00

(45) 공고일자 1990년 10월 31일  
(11) 공고번호 특 1990-0008062

(21) 출원번호	특 1986-0002557	(65) 공개번호	특 1986-0009297
(22) 출원일자	1986년 04월 04일	(43) 공개일자	1986년 12월 22일
(30) 우선권 주장	738620 1985년 05월 28일 미국(US)		
(71) 출원인	리튼 시스템즈, 인크.      해롤드 이. 길만		
	미합중국, 90210 캘리포니아주, 비벌리 힐즈, 노스 크레센트 드라이브 360		
(72) 발명자	이라 제프리 부쉬		
	미합중국, 90048 캘리포니아주, 로스 엔젤레스, 블랙번 8242		
(74) 대리인	장수길, 이세진		

**심사관 : 조현석 (책자공보 제2089호)**

**(54) 파장에 따라 스위치되는 수동 간섭계식 감지기 시스템**

**요약**

내용 없음.

**대표도**

**도 1**

**명세서**

[발명의 명칭]

파장에 따라 스위치되는 수동 간섭계식 감지기 시스템

[도면의 간단한 설명]

제1도는 본 발명에 따른 파장에 따라 스위치되는 수동 간섭계식 감지기 시스템의 개략도.

제2도는 제1도의 파장에 따라 스위치되는 수동 간섭계식 감지기 시스템에 사용될 수 있는 브랙 셀의 개략도.

제3도는 병렬 어레이로 배열된 다수의 감지기들을 포함하는 파장에 따라 스위치되는 수동 간섭계식 감지기 시스템의 개략도.

제4도는 제1도의 마흐-젠더 간섭계에 입력된 신호의 세기와 주파수, 및 제1복조를 위해 검출 장치에 전달된 신호의 세기를 도시한 그래프.

제5도는 제1도의 마흐-젠더 간섭계에 입력된 신호의 세기와 주파수, 및 제2복조를 위해 검출 장치에 전달된 신호의 세기를 도시한 그래프.

제6도는 제1도에 도시한 광학 섬유 방향성 결합기의 단면도.

제7도는 제1도의 시스템으로부터 출력된 신호들 사이의 위상차를 결정하기 위한 복조 알고리즘 스텝을 도시한 플로우차트.

제8도 및 제9도는 간섭계 출력을 여러 샘플링 비로 샘플하기 위해 감지 광학 섬유에 인가된 음향 신호의 주파수의 함수로서 제1도의 간섭계내의 감지 신호와 기준 신호 사이의 최대 위상 전이를 도시한 그래프.

제10a도는 제1도내에 포함될 수 있는 위상 전이기를 구동시키기 위한 램프 전압을 도시한 도면.

제10b도는 제10a도의 램프 전압에 의해 구동된 위상 전이기에 의해 전이되는 광학 신호의 위상을 도시한 도면.

제11도는 제1도의 시스템내에 포함될 수 있는 제1세로다인 주파수 전이 시스템을 간략하게 도시한 개략도.

제12도는 제1도의 시스템내에 포함될 수 있는 제2세로다인 주파수 전이 시스템을 간략하게 도시한 개략도.

제13도는 제1도의 시스템내에 포함될 수 있는 제3세로다인 주파수 전이 시스템을 간략하게 도시한

개략도.

제14도는 본 발명내에 감지기로서 사용될 수 있는 광학 섬유 미첼슨 간섭계의 개략도.

\* 도면의 주요부분에 대한 부호의 설명

20 : 간섭계식 감지기 시스템                      21 : 주파수 전이기  
22 : 레이저    24 : 브렉 셀  
44,64,66 : 광학 섬유                              45,68 : 결합기  
46 : 마흐-젠더 간섭계                          54 : 검출기  
60 : 기준암    62 : 감지암  
130,132 : 필스

[발명의 상세한 설명]

본 발명은 주로 물리적 현상을 감지하기 위한 장치 및 방법에 관한 것으로, 특히 물리적 현상의 변화를 감지하기 위해 간섭계를 사용하는 광학 섬유 감지기에 관한 것이다. 더욱 상세하게 말하자면, 본 발명은 광학 섬유 물질에 의해 전달된 2개의 광선 비임내에 위상차를 발생시킴으로써 음파두(acoustic wavefront)와 같은 섭동에 응답하는 광학 섬유 간섭계식 감지기에 관한 것이다.

광학 섬유는 음파 및 온도 변동과 같은 여러가지 물리적 현상에 민감하다. 이러한 현상에 노출된 광학 섬유는 이 광학 섬유에 의해 유도된 광선의 진폭, 위상 및 편광을 변화시킨다. 광학 섬유들은 수중 청음기, 자력계, 가속도계 및 전류 감지기와 같은 장치내에 감지 소자로서 사용하기 위한 것으로 고찰되어 왔다.

마흐-젠더(Mach-Zehnder), 미첼슨(Michelson), 사그낙(Sagnac), 및 공진 링(resonant ring) 간섭계들이 감지기로서 사용되어 왔다. 마흐-젠더, 미첼슨, 및 사그낙 간섭계는 간섭 광파들내에 위상차를 발생시킴으로써 감지되는 현상에 응답한다. 이 파들내의 위상 변화를 검출하면, 모니터되는 물리적 양이 정량측정될 수 있다. 사그낙 간섭계는 코일 축 위의 회전에 응답하여 단일 광학 섬유의 코일에서 2개의 역전달 광파들내에 위상차를 발생시킨다.

마흐-젠더 간섭계는 음향 진동에 특히 민감하며 전형적으로, 광학 섬유 마흐-젠더 간섭계는 제1길이의 광학 섬유를 포함하는 기준암(reference arm)과 제2길이의 광학 섬유를 포함하는 감지암을 갖는다. 감지암은 측정될 음파와 같은 물리적 파라미터(parameter)에 노출되지만, 기준암은 이 파라미터내의 변화로부터 격리된다. 마흐-젠더 간섭계가 음향 감지기로서 사용될 때, 음파들은 음파 세기의 함수로서 감지암의 광학 길이를 변화시킨다. 광학 결합기는 2개의 암사이에서 광선 신호를 분할시킨다. 이 신호들은 기준암과 감지암을 통해 전달된 후 재결합되고, 이 신호들의 위상차는 모니터된다. 기준암과 감지암내의 신호들이 암들로 유입되었을 때 명확한 위상 관계를 갖기 때문에, 위상차의 변화는 감지암에 노출되는 물리적 파라미터의 변화를 나타낸다.

또한, 미첼슨 간섭계는 감지 신호 및 기준 신호를 각각 전달하는 감지암 및 기준암을 갖는다. 그러나, 미첼슨 간섭계에서, 이 암들은 감지 신호와 기준 신호가 간섭 패턴을 발생시키기 위해 결합되기 전에 각각의 광학 통로를 2회 횡단하게 하는 반사경 내에서 중단된다.

음향 감지기들의 어레이(array)는 다수의 물리 지하 탐사 및 대잠수함 전(antisubmarine warfare)응용시에 사용된다. 이러한 응용시에 통상적으로 사용된 이전의 감지기 어레이는 매우 많은 능동 감지기들을 포함하는데, 감지기를 작동시키고 이로부터 데이터를 수신하기 위해 다수의 배선들이 필요하게 되기 때문에 이 감지기는 가격이 비싸고 조작하기가 어렵다.

본 발명은 물리 지하 탐사 및 모니터되는 파라미터의 물리적 변화가 광학 섬유의 광학 통로 길이에 영향을 미치는 그외의 다른 응용시에 물리적 파라미터를 측정하기 위해 이전의 유용한 능동 전기 시스템을 사용할 때 격제되는 단점 및 불편함을 극복하는 수동 광학 섬유 간섭계식 감지기 시스템을 제공한다. 그러므로, 수동작동되어 제어 장치가 필요없으므로, 본 발명은 전형적인 능동 시스템보다 부품수가 적은 감지기 시스템을 제공한다.

물리적 파라미터의 변화를 감지하기 위한 본 발명의 감지기 시스템은 기준 신호를 전달하기 위한 기준암을 포함하는 간섭계를 포함하는데, 이 간섭계는 감지 신호를 전달하기 위한 감지암도 포함한다. 이 감지암은 물리적 파라미터에 노출되고, 감지 신호는 기준 신호에 대해 초기 위상 관계를 갖는다. 감지 신호는 물리적 파라미터의 변화에 응답하여 기준 신호에 대해 위상 변화를 발생시킨다. 광원은 간섭계의 기준암과 감지암에 입력시키기 위한 일련의 광학 펄스를 공급하고, 주파수 전이기는 각각의 광학 펄스가 제1광학 주파수를 갖고 있는 제1펄스부와 제2광학 주파수를 갖고 있는 제2 펄스부를 포함하도록 광학 펄스의 주파수를 전이시킨다. 제1및 제2펄스부는 감지 신호와 기준 신호사이에 제1 및 제2 직각 위상차를 발생시킨다. 신호 처리 장치는 물리적 파라미터의 변화를 측정하기 위해 감지 신호와 기준 신호사이의 변화를 결정한다.

물리적 파라미터의 변화를 감지하기 위한 본 발명의 방법은 기준 신호를 간섭계의 기준암에 결합시키는 단계, 기준암을 물리적 파라미터로부터 격리시키는 단계, 감지 신호가 기준 신호에 대해 초기 위상 관계를 갖도록 감지 신호를 간섭계의 감지암에 결합시키는 단계, 물리적 파라미터의 변화에 응답하여 기준 신호에 대해 감지 신호의 위상 변화를 발생시키도록 감지암을 물리적 파라미터에 노출시키는 단계, 간섭계의 기준암과 감지암에 입력시키기 위해 일련의 광학 펄스를 공급하는 단계, 각각의 광학 펄스가 제1광학 주파수를 갖고 있는 제1펄스부와 제2광학 주파수를 갖고 있는 제2펄스부를 포함하도록 광학 펄스의 주파수를 전이시키는 단계, 및 물리적 파라미터내의 변화를 측정하기 위해 감지 신호와 기준 신호사이의 위상 변화를 결정하는 단계를 포함하는데, 제1 및 제2펄스부는 제1 및 제2위상차가 서로 직각 상태로 있도록 감지 신호와 기준 신호사이에 제1 및 제2위상차를 발생시

킨다.

이제부터, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 대해서 상세하게 기술하겠다.

#### 시스템 구성부품

제1도를 참조하면, 간섭계식 감지기 시스템(20)은 레이저(22)와 같은 간섭성 광학 에너지를 포함한다. 레이저(22)의 출력 광학 신호는 광학 신호의 주파수를 선택적으로 전이시키는 주파수 전이기(21)에 충돌한다. 이 주파수 전이기(21)은 광학 신호의 주파수를 전이시키기 위한 소정의 적합한 형태의 디바이스로 될수 있다. 간섭계식 감지기 시스템(20)의 예시적인 양호한 실시예는 제2도 및 제10도 내지 제13도에 각각 도시한 브래그 셀(Bragg cell) 또는 세로다인(serrodyne) 주파수 전이 시스템을 포함한다.

제1도를 계속 참조하면, 주파수 전이기(21)의 출력은 광학 섬유(44)의 단부(42)상에 입력 신호를 집속시키는 집속 광학 시스템(40)상에 충돌한다. 에버네스트 필드 결합기(evanescent field coupler)가 바람직한 광학 결합기(45)는 포르트(45A)에서 입력 광학 신호를 수신하고 한 쌍의 포르트(45B 및 45D)에서의 출력신호를 마흐-젠더 간섭계(46)과 같은 적합한 감지기에 제공한다.

제1도의 간섭계식 감지기 시스템(20)은 만일 마흐-젠더 간섭계식 감지기(46)만을 포함하는 것으로 상당히 간략화되어 있다. 제3도를 참조하면, 간섭계식 감지기 시스템(20)은 입력 광학 섬유(50)과 출력 광학 섬유(52)사이의 적합한 광학 결합기(도시하지 않음)에 의해 접속된 병렬여레이(48)내에 배열된 다수의 간섭계식 감지기(46A, 46B등)를 포함할 수 있다. 검출기(54)는 감지되는 물리적 파라미터의 변화를 모니터하기 위해 감지기 (46A, 46B등)으로부터의 출력 신호들을 순차적으로 샘플(sample)한다.

마흐-젠더 간섭계(46)은 기준암(60)과 감지암(62)을 포함한다. 기준암(60)은 광학 섬유(44)가 연장된 광학 섬유(64)를 포함하는 것으로 도시되어 있다. 감지암(62)은 기준암(60)을 포함하는 광학 섬유(64)로부터 분리되는 광학 섬유(66)을 포함한다. 양호하게 에비네스트필드 결합기인 광학 결합기(45)는 포르트(45A)에서 입력 광학 신호를 수신하고 한 쌍의 포르트(45B 및 45D)에서 출력 신호를 마흐-젠더 간섭계(46)과 같은 적합한 감지기에 제공한다. 다음에 기술한 미첼슨 간섭계와 같은 다른 형태의 간섭계식 감지기들이 간섭계식 감지기 시스템(20)내에 포함될 수 있다. 그러나, 제1도에 도시한 본 발명의 예시적인 실시예는 마흐-젠더 간섭계(46)에 관련하여 기술되어 있다.

2개의 광학 섬유(64, 66)에 의해 전달된 신호들은 양호하게 결합기(45)와 유사한 에비네스트 필드 결합기인 제2광학 결합기(68)에 입력된다. 결합기(68)은 포르트(68A, 68B, 68C 및 68D)를 갖는다. 감지 광학 섬유(66)과 기준 광학 섬유(64)에 의해 전달된 광학 에너지는 각각 결합기(68)의 포르트(68A 및 68C)에 입력된다. 마흐-젠더 간섭계(46)의 출력은 검출기(54)로 전달되기 위해 포르트(68B)로부터 방출된다.

마흐-젠더 간섭계(46)의 출력은 전류를 발생시키도록 입사 광선의 세기에 응답하는 제곱(square law)검출기로된 검출기(54)상에 입사된다. 검출기(54)에 접속된 증폭기(76)는 검출기 출력 전류를 증폭한다. 이 증폭기(76)의 출력에 접속된 아날로그/디지털 변환기(78)는 샘플 및 기억화로(80)에 의해 주기적으로 샘플 및 기억되는 증폭된 전류를 디지털화시킨다.

데이터 샘플들은 샘플 및 기억 회로(80)에 접속되는 복조기(82)에 의해 복조된다. 이 복조기(82)는 기준암(60)과 감지암(62)에 의해 전달된 광선 비임(beam)사이의 위상차를 조사한다. 복조기(82)에 접속된 대용량 기억 메모리(84)는 복조된 위상 정보를 디지털 형태로 기억한다. 위상 정보는 편리하게 디지털/아날로그 변환기(88)를 통해 복조기(82)에 접속된 오실로스코프(oscilloscope)로 될 수 있는 적합한 표시 장치(86)상에 표시될 수 있다.

기준암(60)에 의해 유도된 파와 감지암(62)에 의해 유도된 파 사이의 위상 전이를 결정하기 위한 방법을 설명하기 전에 간섭계식 감지기 시스템(20)의 광학 섬유 구성부품들에 대해 상세하게 설명하겠다.

#### 광학 결합기

결합기(45 및 68)과 같은 모든 광학 결합기들은 거의 동일한 구조로 될 수 있으므로, 광학 결합기(45)에 대한 다음 설명은 광학 섬유(44 및 66)이 단일 모우드 광학 섬유일때 간섭계식 감지기 시스템(20)내에 포함된 모든 광학 결합기들에 적용될 수 있다. 간섭계식 감지기 시스템(20)을 다중 모우드 광학 섬유로 구성하는 경우에, 적합한 다중 모우드 결합기(도시하지 않음)는 본 분야에 공지되어 있다.

제6도에 도시한 바와 같이, 결합기(45)는 한 쌍의 기질(90, 92)내에 장착된 제1도의 광학 섬유(44 및 66)을 포함한다. 광학 섬유(44)는 기질(90)의 광학적 평면(98)내에 형성된 만곡홈(94)내에 장착된다. 이와 마찬가지로, 광학 섬유(66)은 기질(92)의 광학적 평면(100)내에 형성된 만곡홈(96)내에 장착된다. 기질(90)과 이 내부에 장착된 광학 섬유(44)는 1/2 결합기(102)를 포함하고, 기질(92)와 이 내부에 장착된 광학 섬유(66)은 1/2 결합기(104)를 포함한다.

만곡홈(94, 96)은 통상적으로 거의 동일한 광학 섬유(44, 66)의 직경에 비해 큰 곡선 반경을 각각 갖는다. 홈(94, 96)의 폭은 광학 섬유(44, 66)이 홈(94, 96)의 저부벽에 의해 각각 정해진 통로와 같은 모양이 되도록 광학 섬유 직경 보다 약간 크다. 홈(94, 96)의 깊이는 기질(90, 92)의 연부에서의 최대치까지 변한다. 이 홈깊이의 변화는 광학 섬유(44, 66)이 홈(94, 96)내에 장착될때 기질(90, 92)의 중심을 향해 수렴하고 기질의 연부를 향해 분산하게 한다. 광학 섬유(44, 66)의 완만한 곡선은 모우드 섭동에 의한 전력 손실을 방지하기 위해 광학 섬유(44, 66)의 방향으로 예리하게 만곡하거나 갑작스럽게 변하는 것을 방지한다. 홈(94, 96)의 단면은 장방형으로 될 수 있지만, 결합기(45)를 형성할때 U-형 또는 V-형과 같은 그외의 다른 단면 형태가 사용될 수도 있다.

기질(90, 92)의 중심에서, 홈(94, 96)의 깊이는 광학 섬유(44, 66)의 직경 이하이다. 기질(90, 92)의 연

부에서, 홈(94,96)의 깊이는 최소한 광학 섬유 직경만한 크기가 바람직하다. 광학 섬유 피복물은 기질(90,92)의 대향 표면(98,100)과 동일 평면상에 있는 광학 섬유(44,66)내에 타원형 평면을 형성하도록 중첩 방법과 같은 소정의 적합한 방법에 의해 각각의 광학 섬유(44,46)으로부터 제거된다. 이 타원형 표면들은 각각의 광학 섬유(44,66)에 의해 전달된 광선의 에버네스트 필드가 다른 광학 섬유와 상호작용하는 상호작용 영역(105)을 형성하도록 대면 관계로 나란히 놓여진다. 제거되는 광학 섬유 피복물의 양은 기질(90,92)의 연부근처에서의 0으로부터 기질(90,91)의 중심에서의 최대량으로 점차로 증가한다. 광학 섬유 피복물의 테이퍼식(tapered)제거는 광학 섬유(44,66)을 점차로 수렴 및 발산시키는데, 이것은 상호작용 영역(105)에서의 광선 에너지의 후방 반사 및 과대 손실을 제거하는데 유리하다.

상호작용 영역(105)에서의 에버네스트 필드 결합에 의해 광선은 광학섬유(44,46)사이로 전송된다. 광학섬유(44,66)과 같은 광학 섬유들은 중심 코어(106)과 주위 피복물(108)을 포함한다. 코어(106)은 피복물(108)의 굴절률 보다 큰 굴절률을 갖고, 코어(106)의 직경은 이 코어(106)내에서 전달되는 광선이 코어-피복물 공유 영역에서 내부 반사될 정도로 되어 있다. 광학 섬유(44)에 의해 유도된 대부분의 광학 에너지는 코어(106)에 제한된다. 그러나, 광학 섬유 코어(106)에 대한 파동방정식의 해법 및 공지된 경계 조건을 적용하는 것은 초기에 코어(106)내의 에너지 분포가 피복물 내로 연장되어 광학 섬유의 중심으로부터 반경이 증가할때 지수적으로 감소하는 부분을 포함한다는 것을 나타낸다. 광학 섬유 코어(106)내에서의 에너지 분포의 지수적 감소부분을 일반적으로 에버네스트 필드라고 부른다. 광학 섬유(44)에 의해 최초로 전달된 광학 에너지의 에버네스트 필드가 충분한 길이로 광학 섬유(66)내로 연장되면, 에너지는 광학 섬유(44)로부터 광학 섬유(66)내로 결합하게 된다.

양호한 에버네스트 필드 결합을 보장하기 위해, 광학 섬유(44,46)으로부터 제거된 물질의 양은 광학 섬유(44,46)의 코어들 사이의 간격이 선정된 임계 지역내에 있도록 조심스럽게 제어되어야 한다. 에버네스트 필드는 짧은 거리로 피복물내로 연장되어 광학 섬유 코어외부의 거리에 따라 크기가 신속히 감소한다. 그러므로, 2개의 광학 섬유(44,66)에 의해 전달된 파들의 에버네스트 필드사이를 중첩 시키기에 충분한 광학 섬유물질이 제거되어야 한다. 너무 적은 물질이 제거되면, 코어는 에버네스트 필드가 유도파들의 목표하는 상호작용을 야기시키도록 충분히 가깝게 되지못하므로, 불충분한 결합이 발생된다.

반대로, 너무 많은 물질이 제거되면, 광학 섬유의 전달 특성을 변화시키게 되어 모우드 섭동으로 인한 광학 섬유로부터의 광선 에너지 손실이 발생된다. 그러나, 광학 섬유(44,66)의 코어들 사이의 간격이 임계 지역내에 있으면, 각각의 광학 섬유(44,66)은 상당한 에너지 손실이 없이 양호한 결합을 달성하기 위해 다른 광학 섬유로부터 에버네스트 필드 에너지의 상당한 부분을 수신한다. 임계 지역은 광학 섬유(44,66)은 에버네스트 필드가 각각의 코어가 다른 코어가 의해 유도된 광선의 에버네스트 필드내에 있는 양호한 에버네스트 필드 결합을 제공하도록 충분히 중첩하는 영역을 포함한다. 단일 모우드 광학 섬유에 의해 유도된 HE<sub>11</sub> 모우드와 같은 약하게 유도된 모우드들의 경우에는, 광학 섬유 코어가 노출될때 모우드 섭동이 일어난다. 그러므로, 임계지역은 에버네스트 필드가 모우드 섭동 유도 전력 손실을 야기시키지 않고서 결합을 발생시키도록 충분히 중첩하게 하는 코어 간격이다.

특정한 결합기에 대한 임계 지역의 크기는 광학 섬유의 파라미터 및 결합기의 기하학적 형태와 같은 여러가지 요인들에 따라 변한다. 이 임계 지역은 스텝(step) 굴절률 형태를 갖고 있는 단일 모우드 광학 섬유의 경우에 매우 좁다. 전형적으로, 광학 섬유(44 및 66)의 중심-대-중심간격은 2-3개의 코어 직경보다 작다.

양호하게도, 광학 섬유(44,66)은 거의 동일한 코어 및 피복물 직경 및 상호작용 영역(105)에서의 곡선 반경을 갖고, 상호작용 영역(105)를 형성하도록 이 영역으로부터 제거된 동일한 양의 광학 섬유 물질을 갖는다. 이 광학 섬유(44,66)은 표면(98,100)의 면내의 상호작용 영역(105)를 통해 대칭이므로, 광학 섬유(44, 66)의 대면 타원형 평면은 이 평면들이 중첩될때 동일 공간에 걸쳐 있게 된다. 그러므로, 2개의 광학 섬유(44,66)은 상호작용 영역에서 동일한 전달 특성을 가지므로, 상이한 전달 특성에 관련되어 결합이 감소되는것을 방지한다. 각각의 광학 섬유(44,46)은 파장, 공유영역에서의 반사 및 내부에서 전달되는 피의 감쇠와 같은 파라미터를 결정하는 전달 상수를 갖는다. 에너지가 상이한 전달 상수를 갖고 있는 매질들 사이보다 거의 동일한 전달 상수를 갖고 있는 매질들 사이에서 더욱 용이하게 결합한다는 것은 공지되어 있다.

기질(90,92)는 소정의 적합한 강성 물질로 제조될 수 있다. 양호한 실시예에서, 기질(90,92)는 일반적으로 길이가 약 2.5cm이고, 폭 2.5cm이며, 두께가 1.0cm인 용융 석영 유리의 장방형 블럭을 포함한다. 광학 섬유(44,66)은 에폭시 수지와 같은 적합한 접착제(도시하지 않음)에 의해 만곡홈(94,96)내에 고착될수 있다. 용융 석영 기질(90,92)는 유리하게 광학 섬유(44,66)의 열팽창 계수와 유사한 팽창 계수를 갖는데, 이것은 기질(90,92) 및 광학 섬유(44,46)이 제조중 또는 사용중에 소정의 열처리를 받는 경우에, 선정된 결합 특성을 유지하는데 중요하다. 몇가지 응용의 경우에, 결합기(45)는 2개의 광학 섬유(44,66)만을 포함할 수 있는데, 이때 2개의 타원형 영역은 기질(90,92)내에 보유되지 않고서 함께 용융 또는 접착된다.

제1도 및 제6도의 결합기(45)는 4개의 포트(45A,45B,45C 및 45D)를 포함한다. 결합기(45)의 좌측과 우측에 각각 있는 포트(45A 및 45B)는 광학 섬유(44)에 해당한다. 결합기(45)의 좌측과 우측에 각각 있는 포트(45C 및 45D)는 광학 섬유(66)에 해당한다. 설명을 하기 위해, 광학 신호 입력이 광학 섬유(44)를 통해 포트(45A)에 인가된다고 가정하겠다. 이 신호는 결합기(45)를 통과하여 광학 섬유(44와 66)사이의 결합량에 따라 포트(45B 및 45C)중 어느 한 포트 또는 이 2개의 포트 모두에서 출력된다. "결합상수"는 결합 전력 대 전체 출력 전력의 비로서 정의된다. 상기 예에서, 결합 상수는 포트(45B 및 45D)에서 출력된 전력의 합으로 나누어진 포트(45D)에서 출력된 전력의 비이다. 이 비를 때때로 "결합 효율"이라고도 부르는데, 이것은 전형적으로 %로서 표현된다. 그러므로, 본 명세서에서 "결합 효율"이란 용어가 사용되면, 대응 결합 효율이 결합 상수의 100배와 동일하다는 것을 알아야 한다.

결합기(45)는 광학 섬유(44,46)의 에버네스트 필드의 중첩 영역의 크기를 제어하기 위해 기질(90,92)의 대향 표면을 오프셋(offset)시킴으로써 결합 상수를 0과 1.0사이에서 소정의 바람직한 값으로 조정하도록 조절될 수 있다. 조절은 기질(90,92)를 서로에 관련하여 측방향 또는 종방향으로 슬라이딩(sliding)시킴으로써 달성될 수 있다.

결합기(45)는 방향성이 높으므로, 이 결합기의 한측에 인가된 거의 모든 전력이 다른 측의 포트에서 출력된다. 포트(45A 또는 45C)중 어느 한 포트에 입력으로서 인가된 광선의 거의 대부분은 상당한 역방향성 결합없이 포트(45B 및 45D)로 전달된다. 방향성 특성은 포트(45B 또는 45D)중 어느 한 포트에 인가된 약간의 광선이 포트(45A 및 45C)에 전달되는 대칭성이다. 결합기(45)는 편광에 관련하여 비-식별성이고, 입력된 광선의 편광을 보존한다.

광학 섬유(44,46)중 한 광학 섬유로부터 다른 광학 섬유로 교차-결합되는 광선은  $\pi/2$  위상 전이되지만, 교차-결합되지 않고 결합기(45)를 직선 통과하는 광선은 위상 전이되지 않는다. 예를 들어, 결합기(45)가 0.5의 결합 상수를 갖고 광학 신호가 포트(45A)에 입력되면, 포트(45B 및 45D)에서의 출력의 크기는 동일하게 되지만, 포트(45D)에서의 출력은 포트(45B)에서의 출력에 대해  $\pi/2$  만큼 위상 전이된다.

결합기(45)는 전형적으로 약 0.1% 내지 0.2%의 삽입 손실을 갖고 있는 저손실 장치이다. 본 명세서에 사용된 바와 같은 "삽입 손실"이란 용어는 결합기(45)를 통과하는 광선 에너지의 실제 산란 손실을 말한다. 예를 들어, 광선 에너지가 포트(45A)에 입력되고, 포트(45B 및 45D)에서 출력된 광선 에너지가 입력에너지의 97%이면, 삽입 손실은 3%로 된다. "결합기 전송률"이란 용어는 1배기 삽입 손실로서 정의되고 전형적으로 십진 분수로 표현된다.

#### 마흐-젠더 간섭계

결합기(45)의 포트(45A)에 입력된 광선의 일부분은 광학 섬유(44)로부터 광학 섬유(66)내로 결합되고, 포트(45D)에서 결합기(45)로부터 출력된다. 마흐-젠더 간섭계(46)은 광선을 광학 섬유(44)와 광학 섬유(66)사이에 결합시키는 한 쌍의 결합기(45와 68)를 포함한다. 결합기(45와 68)사이의 광학 섬유(44) 및 광학 섬유(66)는 각각 기준암(60) 및 감지암(62)를 포함한다. 일반적으로, 기준암(60) 및 감지암(62)의 길이는 상이하다. 기준암(60)내에서 전달되는 광선을 기준 신호라 부르고, 감지암(62)내에서 전달되는 광선을 감지 신호라 부른다. 결합기(68)은 감지 신호의 일부분을 포트(68B)에서 출력시키기 위해 광학 섬유(44)내로 다시 결합시키고, 기준 신호의 일부분을 포트(68D)에서 파장에 따라 스위치되는 수동 간섭계식 감지기 시스템(20)으로부터 출력시키기 위해 감지 광학 섬유(66)내로 다시 결합시킨다. 기준 신호의 일부분은 광학 섬유(44)에 의해 계속 유도되어 포트(68A)로부터 포트(68B)로 전달된다. 결합기(68)은 기준 신호의 일부분과 감지 신호의 일부분을 결합시키고, 기준 신호의 일부분과 감지 신호의 일부분의 중첩 신호인 포트(68B)에서의 출력 신호를 발생시킨다. 기준 신호와 감지 신호를 결합한 결과, 포트(68B)에서의 기준 신호와 감지 신호사이에 간섭 패턴이 형성된다. 이 간섭 패턴은 기준 신호와 감지 신호사이의 위상차  $q$ 의 함수이고, 검출기(54)에 공급되는 마흐-젠더 간섭계(46)의 출력이다.

감지암(62) 및 기준암(60)은 감지 신호와 기준 신호가 결합기(68)내에서 동상으로 결합하도록 휴지 길이(quiescent length)를 가질 수 있다. 측정될 음향 진동과 같은 물리적 파라미터는 이 파라미터에 따른 소정의 종래 장치에 의해 감지기암(62)에 결합된다. 기준암(60)이 파라미터의 변화로부터 격리되는 동안 파라미터의 변화는 감지기암(62)내에 광학 통로 길이 변화  $\Delta L$ 을 발생시키는데, 이것은 기준 신호와 감지 신호사이의 위상 전이를 야기시킨다. 마흐-젠더 간섭계(46)은 감지된 파라미터의 변화가 간섭 패턴내의 위상 전이량과 양적으로 관련될 수 있도록 조정될 수 있다.

결합기(45)의 포트(45B)로부터 결합기(68)의 포트(68A)를 향해 전달되는 광선 세기가  $I_0$ 이고, 결합기(45)가 50%의 결합 효율을 갖고 있으면, 포트(45B 및 45D)에서의 세기는  $I_0/2$ 로 된다. 기준 신호는 결합기(45)로부터 결합기(68)로 전달되는 동안  $\tau_1$  만큼 위상 전이된다. 감지 신호가 결합기(45)로부터 결합기(68)로 전달되는 동안, 광학 섬유(66)에 의해 야기된 위상 전이와 감지된 물리적 파라미터의 변동의 함수인  $e_s(t)$ 의 위상 전이를 발생시킨다.

#### 미첼슨 간섭계

제14도를 참조하면, 시스템(20)내에 감지기로서 사용하기에 적합한 미첼슨 간섭계(106)은 광학 섬유 방향성 결합기(107) 및 감지 광학 섬유(108)와 기준 광학 섬유(109)로 구성된다. 감지 광학 섬유(108)과 기준 광학 섬유(109)는 반사경(140 및 141)내에서 각각 종단된다. 레이저(22)로부터의 광선은 이 광선을 결합기(107)의 포트(107A)로 유도하는 광학 섬유들중 한 광학 섬유, 예를 들어 기준 광학 섬유(109)에 입력된다. 결합기(107)은 입력 광선의 일부분을 포트(107D)에서 출력시키기 위해, 모니터되는 물리적 파라미터에 노출되는 감지 광학 섬유(108)내로 결합시킨다. 반사경(140)은 감지 신호를 다시 감지 광학 섬유(108)을 통해 포트(107D)로 반사시킨다. 감지 광학 섬유(108)내로 교차 결합되지 않는 광선은 포트(107B)에서 출력되고 기준 신호로서 기준 광학 섬유(109)내에 남는다. 반사경(141)은 기준 신호를 다시 포트(107B)로 반사시킨다.

결합기(107)은 기준 신호의 일부분을 감지 광학 섬유(108)내로 결합시킴으로써 감지 신호와 기준 신호를 결합시킨다. 감지 신호와 기준 신호를 결합시키면 간섭 패턴이 발생된다. 결합된 감지 신호와 기준 신호는 포트(107C)에서 출력되고, 물리적 파라미터에 노출됨으로써 야기된 감지 신호내의 위상 변화를 결정하도록 후속 처리되기 위해 검출기(54)상에 충돌한다.

#### 주파수 전이기

주파수 전이기(21)은 양호하게 제2도에 도시한 브랙 셀(24) 또는 제10도 내지 제13도에 도시한 바와 같은 세로다인 주파수 전이기이다.

제2도를 참조하면, 광학 분야에 공지되어 있는 브랙 셀(24)는 음파를 유리슬랩(slab, 26)내로 발사시

키는 음향 변환기(28)에 의해 구동된 유리슬랩(26)을 포함한다. 주파수  $\omega_m$ 의 변조 신호를 음향 변환기(28)에 인가시키면, 유리슬랩(26)내의 음파들의 주파수가 제어된다. 유리슬랩(26)내의 음파들은 이동회절 격자로서 작용하는데, 이것은 입사 광학 비임의 제1부분(27A)를 투과시키고, 제2부분(27B)를 반사시킨다. 광학 신호가 주파수  $\omega_0$ 를 가지면, 브랙 셀(24)로부터 반사된 비임의 부분(27B)는 주파수  $\omega_0 + \omega_m$ 를 갖고, 비임의 투과 부분은 초기 주파수  $\omega_0$ 를 갖는다. 전형적인 브랙 셀 내에서는, 입사 광학 에너지의 60% 내지 70%가 반사되어 주파수 전이된다.

제2도에 도시한 바와 같이, 브랙 셀(24)는 변조 신호를 증폭하는 HF 증폭기(32)로부터 입력 신호를 수신한다. HF 증폭기(32)의 출력은 주파수  $\omega_1$  및  $\omega_2$ 의 전기 신호를 발생시키는 한 쌍의 발진기(34 및 36)의 제어상태하에 있다. 발진기(34 및 36)으로부터 출력되는 신호들은 주파수  $\omega_1$ , 또는  $\omega_2$  신호들중 한 신호를 HF 증폭기(32)에 선택적으로 입력시키는 스위치(38)내로 공급된다.

세로다인 주파수 전이 기술은 램프 신호로 구동되는 선형 광학 위상 전이기를 사용한다. 이 램프 신호는 본질적으로 램프의 기간 동안의 주파수 전이인, 선형으로 시간에 따라 변하는 위상 전이를 발생시킨다. 발생하는 광학 주파수는 램프의 시간 변화율 및 위상 전이기의 스케일 계수(scale factor)에 의해 결정된다. 제10a도는 K v/s의 비로 시간에 따라 선형으로 증가하는 램프 전압을 도시한 그래프이다.

제10b도는 제10a도의 램프 전압에 의해 구동된 변조기로부터 출력되는 광학 신호의 위상을 도시한 그래프이다. 위상의 시간 변화율은 주파수 전이량이다. 그러므로, 제10b도를 참조하면, 주파수 전이량은  $de(t)/dt = KC$ 이다. 여기서 C는 변조기 스케일 계수이다. 세로다인 주파수 전이 기술을 실행하기 위한 세가지의 예시적인 방법에 대해서 제11도 내지 제13도를 참조하여 다음에 기술하겠다.

제11도를 참조하면, 제1세로다인 주파수 전이 시스템(110)은 방사상으로 폴(pol)된 얇은 벽으로 된 압전 실린더(112) 둘레에 감겨진 광학 섬유(111)를 포함한다. 방사상으로 폴된 실린더(112)를 갖는 다른 것은 압전 물질내의 분자 전계가 실린더(112)에 관련하여 방사상 내향 또는 방사상 외향을 지시하도록 배향된다는 것을 의미한다. 예를 들어, 이 전계는 실린더(112)가 내부 표면(114)에 관련하여 부(-)전위에 있는 외부표면(113)을 갖도록 방사상 외향을 지시하기 위해 배향될 수 있다. 폴된 압전 물질 양단에 전위차를 인가하면 예상가능한 크기 변화가 일어난다는 것은 공지되어 있는 사실이다. 표면(113 및 114)상의 적합한 전극(도시하지 않음)에 접속된 전압원(115)는 실린더(112)의 반경을 시간에 따라 선형으로 변화시키도록 표면(113과 114)사이의 압전 물질 양단에 전압을 인가시킨다. 광학 섬유(111)는 실린더(112)의 반경 변화에 비례하여 변하므로, 광학 섬유에 의해 전달된 광학 신호의 위상을 변조시킨다.

제12도를 참조하면, 제2형태의 세로다인 주파수 전이 시스템(116)은 본질적으로 비압축성 유체로 충전된 공동(118)을 포함하는 압전 실린더(117)를 포함한다. 광학 섬유(120)는 일반적으로 동축 형태로 실린더(117)를 통과한다. 또한, 실린더(117)는 전압원(115)로부터의 전압을 실린더의 내부 및 외부 양단에 인가할때 실린더(117)를 변형시키도록 방사상으로 폴된다. 실린더(117)의 방사상 내향 변형은 유체(118)에 힘을 가하여 힘을 광학 섬유로 전송한다. 광학 섬유(120)상의 최종 변형은 광학 섬유 굴절률을 변화시키므로, 광학 섬유(120)에 의해 유도된 광학 신호의 위상을 변화시킨다.

제3형태의 세로다인 주파수 전이 시스템(121)은 제13도에 도시되어 있다. 제1도의 레이저(22)로부터의 광학 신호는 리튬 니오베이트(lithium niobate)인 전기 광학적 활성 물질(122)에 입력된다. 전압원(115)로부터의 전압을 전기 광학적 활성 물질(122)에 인가시키면, 이 내부에서 전달되는 광학 신호의 위상이 변한다. 위상 변화량은 전기 광학적 활성 물질(122)에 인가되는 전압원(115)로부터의 전압 V를 제어함으로써 제어될 수 있다.

#### 연산 방법

단일 모우드 전달을 가정하면, 감지암 및 기준암에 대한 전계가 평면파로서 모델될 수 있고 다음과 같이 수학적으로 표현될 수 있다.

$$E_{IS} = A \exp [i(\omega_1 t + \theta_{SS} + \theta_a + \theta_{rs})] \quad (1)$$

$$\text{및 } E_{IR} = B \exp[i(\omega_1 t + \theta_{SR})] \quad (2)$$

여기서, A 및 B는 감지암(62) 및 기준암(60)내의 전계의 스칼라량이고,  $\omega_1$ 은 발진기(34)의 출력이 HF 증폭기(32)에 입력될 때 광학 전계의 래디안 주파수이며,  $\theta_{SS}$  및  $\theta_{SR}$ 은 광학 통로길이가  $b_1 L$ 인 경우의 감지암(62) 및 기준암(60)에 대한 정적 위상 전이량이고,  $\theta_{TS}$  및  $\theta_{TR}$ 은 감지암(62) 및 기준암(60)에 대한 열임의 위상 전이량이며,  $\theta$ 는 기준 광학 섬유(66)상에 충돌하는 음파두에 의한 감지 신호내의 위상 전이량이다.

검출기(54)는 양호하게 입사 광선 세기의 함수인 출력  $s(t)$ 를 발생시키는 제곱 검출기이다. 그러므로, 이 검출기 출력은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$s(t) = A^2 + B^2 + 2AB \cos(\theta_a + \theta_{S1} + \theta_{SR}) \quad (3)$$

여기서,  $\theta_{S1} = \theta_{SS} - \theta_{SR} = \beta_1 \Delta L$  [ $\Delta L$ 은 감지암(62)와 기준암(60)사이의 통로길이 오정합량이다]이고,  $\theta_r = \theta_{TR} - \theta_{TS}$ 이다.

마흐-젠더 간섭계(46)에 입력된 광학 신호의 주파수가 발진기(36)의 출력을 HF 증폭기(32)에 인가시키도록 스위치(38)를 작동시킴으로써 변화되면, 광학 섬유(44, 46)의 전달 상수는  $\beta_1 = 2\pi n / \lambda_1$  (여기서,  $\lambda_1$ 은 주파수  $\omega_1$ 에 대응하는 자유 공간 광학 파장이고,  $n$ 은 광학 섬유 물질의 굴절률이다)로부터 새로운 값  $\beta_2 = 2\pi n / \lambda_2$  (여기서,  $\lambda_2$ 는 주파수  $\omega_2$ 에 대응하는 자유 공간 광학 파장이다)로 변환된다.

새로운 전달 상수는  $\beta_2$ 는 다음식으로 주어진, 감지 신호와 기준 신호 사이의 새로운 위상차  $\theta_{s2}$ 를 발생시킨다.

$$\theta_{s2} = \theta_2 \Delta L \quad (4)$$

위상차  $\theta_{s1}$ ,  $\theta_{s2}$  및 전달 상수는 다음과 같이 되도록 관련된다.

$$1/2 = \theta_{s2} - \theta_{s1} = (\beta_2 - \beta_1) L \quad (5)$$

이것은 다음과 같이 감소된다.

$$\Delta \theta_s = \Delta \beta \Delta L = 1/2 \quad (6)$$

여기서,  $\Delta \theta_s = \theta_{s2} - \theta_{s1}$  및  $\Delta \beta = \beta_2 - \beta_1$ 이다. 통로길이 오정합량  $L$ 은 일정하므로, 양  $\Delta \beta \Delta L$ 의 크기는 광학 신호의 주파수를 변화시킴으로써  $1/2$ 과 동일하도록 조정된다.

$\Delta \theta_s = 1/2$ 가 되도록  $\Delta \beta / \Delta L$ 이 선택되기 때문에,  $\omega_1$ 으로부터  $\omega_2$ 까지의 주파수 전이  $\Delta \omega$  후에 마흐-젠더 간섭계(46)로부터의 출력 신호는 초기 출력 신호와 직각관계에 있게 된다. 2개의 출력 신호들 사이에서 직각관계가 요구될 수 있는데, 그 이유는 2개의 신호들이 감지 신호와 기준 신호 사이의 위상 전이량을 결정하기 위해 처리될 수 있기 때문이다. 위상 전이량이 감지 광학 섬유상에 입사하는 음파의 음압 레벨(sound pressure level)에 선형 비례하기 때문에, 위상 전이량을 결정하면 음압 레벨이 결정된다. 직각상태의 출력을 발생시키는데 필요한 광학 주파수 전이량  $\Delta f$ 는 다음과 같이 계산된다.

$$\Delta f = c / (4n \Delta L) \quad (7)$$

여기서,  $c$ 는 광선의 자유 공간 속도이고,  $n$ 은 광학 섬유(44 및 66)의 굴절률이며,  $\Delta L$ 은 통로길이 오정합량이다.

일반적으로 간섭계, 특히 마흐-젠더 간섭계(46)의 고유 감도 및 모듈로(modulo) 2의 연산은 다른 형태의 감지기들과 상당히 상이하다. 비교적 작은 신호들은 0 내지 2의 값으로 되화하는 큰 위상 전이를 발생시킨다. 되화량은 이 되화가 일어날 때 계수될 수 있고, 최종 되화 위상은 적당히 낮은 정확도의 측정 시스템으로 측정될 수 있다.

이러한 시스템의 장점은 수중 지하 물리 탐사시에 사용된 전형적인 해양 스트리머(marine streamer) 감지기의 명세서를 고찰함으로써 예증된다. 선박은 해수(ocean water)와 대양저(ocean floor)가 상이한 음향 임피던스를 갖기 때문에 파의 일부분이 해수면을 향해 다시 반사하는 대양저로 전달되는 평면 음파를 형성하도록 압축 개스를 해수내로 방출하는 공기 폭발기(air gun)를 예인한다. 공기와 해수면 사이의 공유 영역에서 제2반사가 일어난다. 파의 일부분은 대양저 아래의 지하로 관통하고 지질층으로부터 반사한다. 이 반사의 분석은 대양저 아래의 퇴적물 위치 및 크기에 관련된 정보를 제공한다.

해양 스트리머 응용시에 사용된 음향 감지기는 모든 관련된 반사를 검출 및 식별할 능력을 제공하기 위해 약 120dB의 동적 범위를 가져야 한다. 선형 시스템은 신호대 잡음비 보다 큰 동적 범위를 가질 수 없다. 그러므로, 이러한 응용을 위한 선형 음향 감지기는 실제로 달성하기 어려운 120dB 또는  $10^{12}$ 의 신호대 잡음비를 가져야 한다.

목표하는 동적 범위를 갖도록 간섭계식 감지기 시스템(20)을 구성하기 위해서, 검출될 최대 신호는  $X/1,000,000$ 레디안에 대응하도록 선택될 수 있다.  $X$ 가 1,000레디안이면, 검출될 최소 신호는 1밀리레디안인데, 이것은 마흐-젠더 간섭계(46)과 같은 비교적 낮은 해상도의 광학 섬유 간섭계로 측정될 수 있다. 음압이 간섭계에 의해 검출되는 신호의 제공에 비례하기 때문에, 최대 신호대 최소 신호의 비는  $10^6$  : 1로 된다. 그러므로, 최대 간섭계 출력 신호대 최소 간섭계 출력 신호에 대한  $10^6$  : 1의 비는 음압에 대한  $10^{12}$  : 1비에 대응한다. 211되화의 수를 계수함으로써 최대 위상 변화량이 측정되므로, 적당히 낮은 해상도의 시스템으로 120dB의 동적 범위, -120dB의 해상도 및 높은 선형성을 실현할 수 있다. 그러므로, 비선형성인 본 발명은  $n\pi$ 의 싸이클을 추가시킴으로써 신호대 잡음비 이상으로 동적 범위를 연장시키는 능력을 제공한다.

제4도의 그래프는 본 발명의 기본원리를 도시한 것이다. 마흐-젠더 간섭계(46)에 입력시키기 위한 브랙셀로부터의 출력은  $t=0$  내지  $t=T$ 의 시간 간격으로 일정한 세기를 갖고 있는 광학 펄스(150)로 도시되어 있다. 이 광학 펄스(150)은 초기에 주파수  $\omega_1=2\pi f_1$  (여기서,  $\omega$ 는 레디안/sec로 표현되고,  $f_1$ 는 싸이클/sec로 표현된다)을 갖는다.  $t=T_1$ 일 때, 광학 신호의 주파수는  $\omega_1$ 로부터  $\omega_2=2\pi f_2$ 로 전이된다. 제2주파수  $f_2$ 는 설명하기 위해 제1주파수  $f_1$ 보다 큰것으로 도시되어 있다. 간섭계식 감지기 시스템(20)은 제2주파수가 제1주파수보다 큰경우에 만족스럽게 동작한다.

광 검출기(54)로부터 출력된 신호는 제4도에 [1]-[5]로 표시한 5개의 별도의 부분들을 갖는 것으로 도시되어 있다. 제1부분 [1]은 마흐-젠더 간섭계(46)에 대한 지연시간인 시간  $T_d$ 에서 시작되고 통로길이 오정합으로 인한 시간 지연인 시간 간격  $T_m=\Delta L n/c$  동안 존재한다. 검출기 출력 신호의 부분 [1]은 기준신호 세기인 다음과 같은 일정한 크기를 갖는다.

$$[1] = B^2 \quad (8)$$

간략하게 하기 위해, 기준 신호는 결합기(45)에 입력된 광학 신호의 주파수가 전이할 때 변하지 않는다고 가정하겠다. 기준암(60)은 일반적으로 감지암(62)보다 짧다. 그러므로, 광학 통로를 검출기(54)로 관통시키도록 기준 신호에 대한 지연 시간  $T_d$ 의 경과후에, 마흐-젠더 간섭계(46)의 초기 출

력은 기준 신호로 된. 물론, 감지암(62)가 기준암(60)보다 짧으면, 마흐-젠더 간섭계(46)의 초기 출력은 감지 신호로 된다.

제2부분 [2]는 결합기(45)에 입력된 광학 신호의 주파수가 제4도에 그래프로 도시한 주파수  $f_1$  일때의 기준 신호와 감지 신호 사이의 간섭을 나타낸다. 제2부분 [2]는 신호가 감지암(62)를 통해 전달되는데 걸리는 시간인 시간  $t=T_d+T_m$  에서 시작된다. 이 제2부분 [2]는 시간  $t=T_d+T_f$  [여기서,  $T_f$ 는 브랙셀(24) 또는 그외의 다른 광학 주파수 전이 장치에 의해 발생된 시간 지연이다.]가 될때까지 존재한다. 검출기 신호의 부분 [2]의 크기는 다음과 같다.

$$[2] = A^2 + A^2 + 2A B \cos \theta \quad (9)$$

여기서,  $\theta = \theta_a + \theta_r + \theta_s$ 인데, 이것들은 앞에서 정의되었다.

검출기 출력의 제3부분 [3]은 기준암(60)을 통해 결합기(68)에 전달된 주파수  $f_2$ 를 갖고 있는 광학 신호와 감지암(62)를 통해 결합기(68)에 전달된 주파수  $f_1$ 의 신호 사이의 간섭을 나타낸다. 감지암(62)가 기준암(60)보다 길어지도록 선택되기 때문에, 기준 신호가 주파수  $f_1$ 을 갖고 감지암(62)가 주파수  $f_2$ 를 갖는 경우에 주파수 전이기(21)이 주파수  $f_1$ 으로부터 주파수  $f_2$ 로 전이한후 시간 간격이 있게 된다. 검출기 출력의 제3부분 [3]은 시간  $t=T_d+T_f$ 에서 시작되고, 감지 광학 섬유(66)과 기준 광학 섬유(64)사이의 통로 오정합으로부터의 지연 시간의  $t=T_d+T_m+T_f$ 가 될때까지 존재한다. 검출기 출력의 제3부분의 크기는 다음과 같다.

$$[3] = A^2 + B^2 + 2AB \cos (\omega t + \theta) \quad (10)$$

검출기 출력의 제4부분 [4]는 둘다 제2주파수  $f_2$ 를 갖는 기준 신호와 감지 신호 사이의 간섭을 나타낸다. 검출기 출력의 제4부분 [4]는 시간  $t=T_d+T_m+T_f$ 에서 시작되고, 시간  $t=T_d+T$ 가 될때까지 존재한다.

검출기 출력의 부분 [4]의 세기는 다음과 같다.

$$[4] = A^2 + B^2 + 2AB \sin \theta \quad (11)$$

검출기 출력의 제5부분 [5]는 감지 신호의 세기를 나타낸다. 검출기의 제5부분 [5]에서, 제2주파수를 갖고 있는 입력 부분은 시스템을 통해 완전히 전달되지만, 긴 광학 통로를 갖고 있는 감지 신호는 시스템내에 남는다. 그러므로, 검출기상에 입사된 광학 신호만이 감지 신호로되는 시간 간격이 있게 된다. 검출기 출력의 제5부분 [5]는 시간  $t=T_d+T$ 에서 시작되고,  $t=T_d+T+T_m$ 에서 종료된다. 검출기 출력의 제5부분 [5]의 세기는 마흐-젠더 간섭계(46)에 입력된 파의 세기이고 다음과 같다.

$$[5] = A^2 \quad (12)$$

마흐-젠더 간섭계(46)으로부터 출력된 신호의 전체 길이는  $T_m+T+5T_m$ 으로 제공되는데,  $T=4T_m$ 이고  $T_f=2T_m$ 이다. 짧은 펄스 기간을 사용할 수 있는데, 이것은 검출기(54)로부터의 신호[2] 및 [4]에 대해 짧은 기간을 발생시킨다. 펄스 기간을 짧게 하면, 검출기 출력을 디지털적으로 샘플할때 사용된 아날로그/디지털 변환기에 더욱 엄격한 요구조건이 생기게 된다.

광학 입력에 대한 위상 전이가 직각상태에 있기 때문에, 주파수  $f_1$ 의 제1펄스 부분에 대한 감지 신호와 기준 신호 사이의 간섭은 위상각의 코사인 함수로 표현될 수 있고, 주파수  $f_2$ 의 제2펄스 부분에 대한 감지 신호와 기준 신호 사이의 간섭은 위상각의 싸인 함수로 표현될 수 있다. 2개의 간섭항은 각의 탄젠트가 싸인 대 코사인의 비이기 때문에 위상각의 탄젠트에 대해 풀어질 수 있다. 마흐-젠더 간섭계(46)의 위상 신호의 근을 구하기 위한 알고리즘은 다음과 같다.

$$\tan (\theta) = \{ [4]-[5]-[1] \} \{ [2]-[5]-[1] \}^{-1} \quad (13)$$

여기서, 값  $\theta$ 는 복조기(82)내에 포함될 수 있는 해독 전용 메모리(도시하지 않음)내에 기억될 수 있는 탄젠트 표로부터 결정된다.

기준 신호에 관련하여 감지 신호의 위상을 발생시키기 위한 제2방법은 제5도에 도시되어 있다. 한쌍의 펄스(130,132)는 마흐-젠더 간섭계(46)에 입력된 광학 신호의 세기를 나타낸다. 광학 신호의 제1펄스(130)는 제1주파수  $\omega_1$ 을 갖고, 제2펄스(132)는 제2주파수  $\omega_2$ 를 갖는다. 검출기 출력은 제4도에 도시한 복조 방법에 대한 검출기 출력 신호의 부분 [1]-[5]와의 혼동을 방지하기 위해 [6]-[11]로 표시한 5개의 별개의 비-제로(non-zero)부분들로 구성된다. 제1의 3개 부분 [6]-[8]은 광학 주파수  $f_1$ 을 갖고 있는 펄스(130)에 응답하여 검출기(54)에 의해 발생된다. 부분 [6]은 주파수  $f_1$ 을 갖고 있는 입력 신호에 대한 기준 신호의 세기인데, 그 이유는 마흐-젠더 간섭계(46)의 초기 출력이 기준 신호이기 때문이다. 부분 [7]은 감지 신호와 기준 신호 사이의 간섭을 나타내고, 부분 [8]은 제1펄스(130)에 대한 감지 신호의 세기를 나타낸다. 제1의 3개 부분 [6]-[8]은 인접하고, 감지암(62)와 기준암(60)사이의 통로길이내의 오정합에 의해 야기된 지연인  $T=\Delta L/c$ 의 기간을 각각 갖는다.

제2의 3개 부분 [9]-[11]은 제2펄스(132)에 대한 검출기 응답이다. 제2의 3개 부분 [9]-[11]은 인접하고  $T$ 의 기간을 각각 갖는다. 검출기 출력의 부분 [9],[10] 및 [11]은 기준 신호 세기, 기준 신호와 감지 신호 사이의 간섭 및 감지 신호 세기를 각각 나타낸다.

부분 [6]-[11]의 세기는 다음과 같다.



$$[6] = B^2 \quad (14)$$

$$[7] = A^2 + B^2 + 2AB\cos\theta \quad (15)$$

$$[8] = A^2 \quad (16)$$

$$[9] = D^2 \quad (17)$$

$$[10] = C^2 + D^2 + 2CD\sin\theta \quad (18)$$

$$[11] = C^2 \quad (19)$$

여기서, A 및 B는 제1입력 펄스(130)로부터 감지암(62)와 기준암(60)에 입력된 전계의 크기이고, C 및 D는 제2입력 펄스(132)로부터 감지암(62)와 기준암(60)에 입력된 전계의 크기이다. 각  $\theta$ 는 상수 A, B, C 및 D를 결정하고

$$\tan\theta = \{ [10] - [11] - [9] \} \{ [8] - [6] \}^{1/2} \{ [7] - [8] - [6] \}^{-1} \{ [11][9] \}^{-1/2} \quad (20)$$

각  $\theta$ 는 상술한 바와 같이 탄젠트 표로부터 결정될 수 있다. 제1 및 제2알고리즘은 위상 변화를 알기 위해 싸인 또는 코사인인 아닌 각의 탄젠트를 사용하는데, 그 이유는 싸인 및 코사인 곡선이 변화가 너무작아 정확한 측정이 어렵게되는 많은 부분을 갖기 때문이다. 탄젠트 함수는 싸인 및 코사인 함수의 최대치 및 최소치에 근접할 만큼 작은 변화가 없다.

다음에 상세하제 기술한 바와 같이, 탄젠트의 역인 코탄젠트는 코싸인이 싸인 이하일때 위상각을 결정하기 위해 사용된다.

검출기 신호 [6],[8],[9] 및 [11]의 크기가 동일하면, 식 (20)은 다음과 같이 된다

$$\tan\theta = \{ [10] - [11] - [9] \} \{ [7] - [8] - [6] \}^{-1} \quad (21)$$

제1펄스 부분(130)과 제2펄스 부분(132)사이의 시간 간격은 감지 신호와 기준 신호 사이의 위상각과 시스템의 배경 잡음을 상당히 변화시키는데 필요한 시간 간격에 비해 작다. 위상각의 변화는 모니터되는 물리적 파라미터에 관련되므로, 펄스(130과 132)사이의 시간 간격 중에 파라미터는 크게 변화되지 않는다. 파라미터 또는 배경 잡음이 상당히 변하면 파라미터의 측정 정확도를 저하시키게 된다.

마흐-젠더 간섭계(46)의 위상이 데이터 샘플들 사이에서 p라디안 이상으로 전이되면, 검출 신호의 변화율의 극성을 결정할 수 없게 되어, 간섭계식 감지기 시스템(20)의 동작 특성에 제약을 가하게 된다. 이 제약은 회전 비 한계(slew rate limit)로서 가장 용이하게 인지되고, 샘플링 비 및 광학 입력 신호들의 주파수와 크기에서 발생한다.

마흐-젠더 간섭계(46)에 의해 검출될 위상은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\theta(t) = K \sin(\omega t) \quad (22)$$

여기서, K는 위상 회유(phase excursion)의 크기이고,  $\omega$ 는 음향 신호의 래디안 주파수이다. 위상 신호  $\theta(t)$ 의 시간 도함수는 음향 신호의 변화율 또는 회전 비이고, 다음과 같이 주어진다.

$$de(t)/dt = \omega K \cos(\omega t) \quad (23)$$

회전 비는  $\cos(\omega t) = 1$ 일때  $\omega K$ 의 최대값을 갖는다. N이 검출기 신호가 초당 샘플되는 횟수이면, 마흐-젠더 간섭계에 대한 최대 허용 신호 레벨은 다음과 같이 된다.

$$K_{\max} = N / \omega \quad (24)$$

제8도 및 제9도는 샘플링 비 N의 여러 값에 대한 주파수에 따른 Kmax의 변화를 도시한 것이다. 제8도 및 제9도의 곡선에 관련된 1MS, 0.5MS 및 0.25MS는 연속 샘플들 사이의 시간 간격 1/N을 나타낸다. N=1000/S이며, 500Hz에서 Kmax는 1/래디안으로되지만, 3Hz에서 Kmax는 167/래디안으로 된다.

입사 광선이 파가 X-축 및 Z-축과 45°의 각도를 이루는 선을 따라 선형 편광되는 제1도의 좌표축 상에 도시한 바와 같이 y-방향으로 전달된다고 가정하겠다. 편광은 광파에 관련된 전계 벡터 E의 방향으로 된다. 통상적인 단일 모드 광학 섬유는 상당한 크기의 복굴절성을 갖는데, 이것은 이러한 광학 섬유들이 편광에 의존하는 전달 상수를 갖는다는 것을 의미한다. 이 복굴절성은 파의 편광 성분들 사이의 위상 전이를 발생시킨다. 그러므로, 마흐-젠더 간섭계(46)로부터 출력된 목표하는 간섭 패턴을 얻기 위해 기준 신호의 편광을 제어하기 위한 몇가지 장치를 포함할 필요가 있다. 약 2.0cm의 반경을 갖고 있는 원호로 만곡된 통상적인 광학 섬유는 감지 신호와 기준 신호의 편광을 정합시키기 위해 사용될 수 있는 약 11래디안/m의 복굴절성을 갖는다. 광학 섬유 분야내에 공지된 그 외의 다른 편광 제어 방법들이 사용될 수 있다.

표 1은 다수의 광학 통로길이의 경우에 파장에 따라 스위치 되는 수동 간섭계식 감지기(20)의 필요 조건들을 나타낸다.

감지기 특성

[표 1]

감지기 특성

A/D비 (MHz)	오정합된 통로길이(m)	복귀신호 기간(nsec)	주파수 전이(MHz)	· 요구된 자연길이(m)	100개의 감지기에 대한 초당 샘플비
200	1	25	50	5	40,000
40	5	125	10	25	8,000
20	10	250	5	50	4,000
13	15	375	3.3	75	2,670
10	20	500	2.5	100	2,000

제7도는 제4도 및 제5도에 그래프로 도시한 데이터로부터 위상각  $q$ 를 얻기 위해 사용될 수 있는 복조 알고리즘의 플로우차트이다. 복조 알고리즘을 실행하기 위해 파장에 따라 스위칭되는 수동 간섭계 시스템(20)의 복조기(82)내에 소정의 적합한 디지털 계산 장치(도시하지 않음)가 포함될 수 있다.

시스템이 개시된후, 제1주파수의 입력 신호에 대응하는  $A^2$ ,  $B^2$  및  $A^2+B^2+2AB\cos\theta$ 의 측정값을 나타내는 신호들은 디지털 샘플링 및 기억회로(80)으로부터, A,B 및 2AB의 값을 계산하는 계산 장치로 로드(load)된다. 그 다음, 컴퓨터는 제2주파수의 입력 신호들에 대응하는 디지털 샘플링 및 기억 회로(80)으로부터의 신호들을 대기한다. 제2주파수를 갖고 있는 펄스의 진폭은 제1주파수를 갖고 있는 펄스의 진폭과 상이하게 될 수 있으므로, 제2주파수의 입력 신호에 대응하는 측정량이  $C^2$ ,  $D^2$  및  $C^2+D^2+2CD\sin\theta$ 로서 기입될 수 있다. 제2신호 셋트를 수신한 후, 컴퓨터는 C,D 및 2CD의 값을 계산한다.

그 다음, 시스템은  $\sin\theta$ ,  $\cos\theta$ 값을 계산하고, 2개의 삼각 함수들중 어느 쪽이 큰지를 결정하기 위해 팔분원 오프셋(octant offset)을 푼다. 계수 카운터(modulus counter)는 위상각이 변화되는 211 래디안의 수를 기록하기 위해 증가 또는 감소되는데, 이것은 싸인 및 코사인 함수의 퇴화로 인해 필요하게 된다.  $\cos\theta > \sin\theta$ 이며, 시스템은  $\tan\theta$ 값을 계산하고 탄젠트 표로부터 각  $\theta$ 를 결정한다.  $\cos\theta < \sin\theta$ 이면, 시스템은  $\cot\theta$ 값을 계산하고, 코탄젠트 표로부터 각  $\theta$ 를 결정한다. 코사인 값은 제1, 제4, 제5 및 제8팔분원내에서 싸인값 보다 크고, 코사인 값은 나머지 팔분원내에서 싸인값 보다 작다. 각  $\theta$ 를 결정한후, 시스템은 팔분원 더하기 계수 오프셋에 대응하는 다수의 래디안, 또는 위상각  $\theta$ 가 변화되는 정수배의 211래디안을 각  $\theta$ 에 가산한다. 시스템은 위상각내의 전체 변화를 나타내는 디지털 신호를 본 분야에 공지된 자기 테이프 또는 디스크 유니트와 같은 적합한 디지털 대용량 기억 장치내에 기억시키고, 위상 변화가 오실로스코프(89)와 같은 소정의 적합한 아날로그 장치상에서 모니터될 수 있도록 디지털/아날로그 변화기(86)에 출력을 제공한다.

본 발명은 이제까지 공지된 감지 시스템보다 상당한 장점을 제공한다.

본 발명의 감지 시스템(20)은 동적 범위가 신호 대 잡음 비보다 클 수 없는 선형 감지 시스템과는 달리, 포함된 광학 구성부품들의 신호 대 잡음비보다 큰 동적 범위를 제공한다. 감지 시스템(20)은 비선형성인데, 그 이유는 이 감지 시스템(20)이 정수배의 11래디안인 싸이클을 계수한 다음에 n11래디안(n는 싸이클 수이다) 이상의 증가 위상차를 측정함으로써 샘플하기 때문이다. 동적 범위는 계수될 수 있는 싸이클의 수를 증가시킴으로써 확장될 수 있다. 특히, 본 발명의 원리를 이용하는 음향 감지기는 감지 간섭계의 신호대 잡음비의 1000배인 신호대 잡음비를 가질 수 있다. 예를들어, 본 발명은  $10^6$ 의 시스템 신호대 잡음비를 제공할 수 수 있는데, 이때 광학 구성부품들은 광학 섬유 결합기 및 광학 간섭계로 용이하게 실현할수 있는  $10^3$ 의대 잡음비를 갖는다.

## (57) 청구의 범위

### 청구항 1

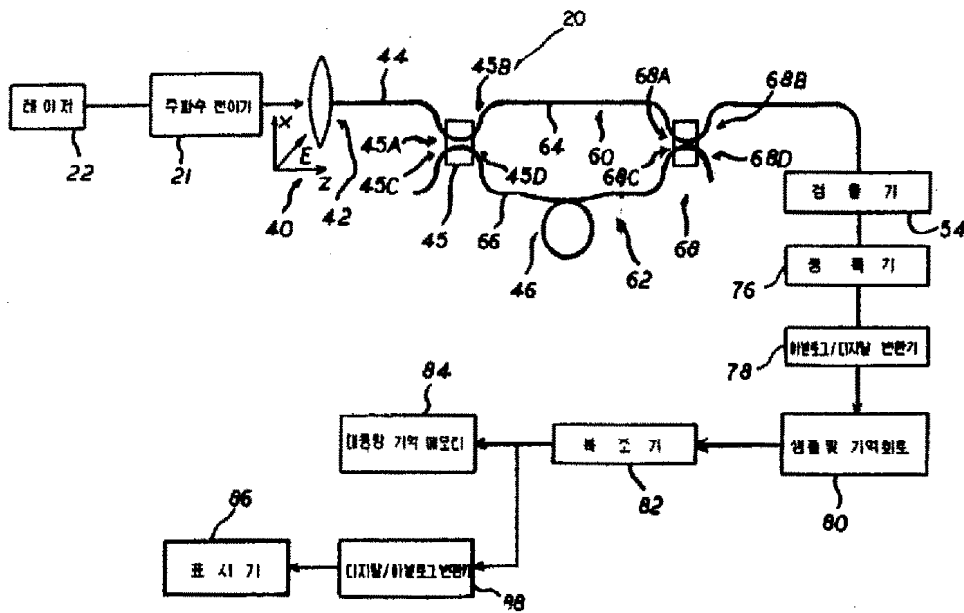
물리적 파라미터로부터 격리되고 기준 신호를 전달하기 위한 기준 광학 섬유(44) 및 물리적 파라미터에 노출되고 기준 신호에 대해 초기 위상 관계를 갖고 있는 감지 신호를 전달하며 물리적 파라미터의 변화에 응답하여 기준 신호에 관련하여 감지 신호의 위상 변화를 발생시키기 위한 감지 광학 섬유(66)를 포함하는 간섭계(46), 간섭계(46)의 기준 광학 섬유(44)와 감지 광학 섬유(66)에 입력시키기 위한 일련의 광학 펄스(130, 132)를 공급하기 위한 광원(22), 각각의 일련의 광학 펄스가 제1 광학 주파수( $f_1$ )를 갖고 있는 제1펄스 부분 및 제2광학 주파수( $f_2$ )를 갖고 있는 제2펄스 부분을 포함하도록 광학 펄스(130, 132)의 주파수를 전이시키기 위한 주파수 전이기(21), 및 물리적 파라미터의 변화를 측정하기 위해 감지 신호와 기준 신호 사이의 위상 변화를 결정하기 위한 신호 처리 장치(76,78,80,82,84,88)를 포함하는데, 제1 및 제2펄스부분이 감지 신호와 기준 신호 사이에 제1 및 제2위상차를 발생시키며, 제1 및 제2위상차가 서로 직각 관계로 있게되는 것을 특징으로 하는 물리적 파라미터의 변화를 감지하기 위한 감지기 시스템.

## 청구항 2

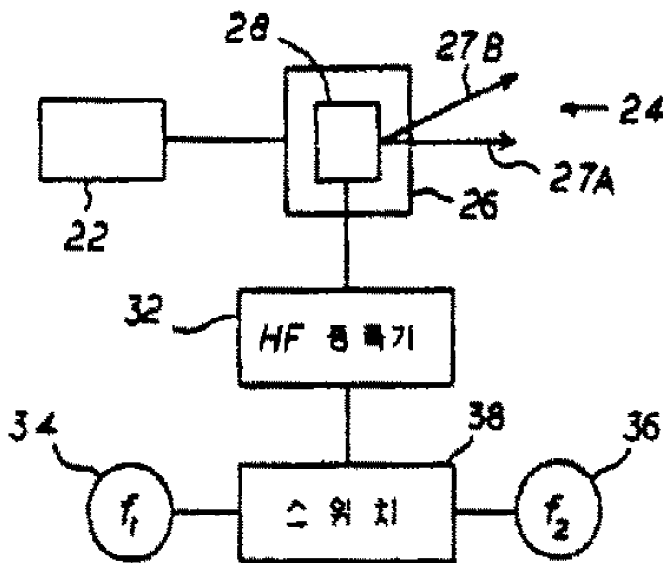
제1항에 있어서, 제1펄스 부분과 제2펄스 부분이 동일한 크기를 갖고, 물리적 파라미터의 변화를 측정하기 위해 감지 신호와 기준 신호 사이의 위상 변화를 결정하기 위한 감지기 시스템에 있어서, (a) 기준 신호 세기를 나타내는 제1신호[1], (b) 광학 신호가 제1광학 주파수를 갖고 있는 경우에 기준 신호세기, 감지 신호 세기 및 기준 신호와 감지 신호 사이를 간섭하기 위한 감지 신호와 기준 신호 사이의 위상각의 코사인값에 따라 변하는 제2신호[2], (c) 제2광학 주파수를 갖고 있는 기준 신호의 일부분과 제1광학 주파수를 갖고 있는 감지 신호의 일부분 사이의 간섭을 나타내는 제3신호[3], (d) 광학 신호가 제2광학 주파수를 갖고 있는 경우에 기준 신호 세기, 감지 신호 세기 및 기준 신호와 감지 신호 사이를 간섭하기 위한 감지 신호와 기준 신호 사이의 위상각의 코사인값에 따라 변하는 제4신호[4], 및 (e) 감지 신호 세기를 나타내는 제5신호[5]를 기억시키기 위한 신호 기억 장치(80), 및 감지 신호와 기준 신호 사이의 위상각을 결정하기 위해 신호 [1]-[5]를 처리하기 위한 계산장치를 포함하는 것을 특징으로 하는 감지기 시스템.

## 도면

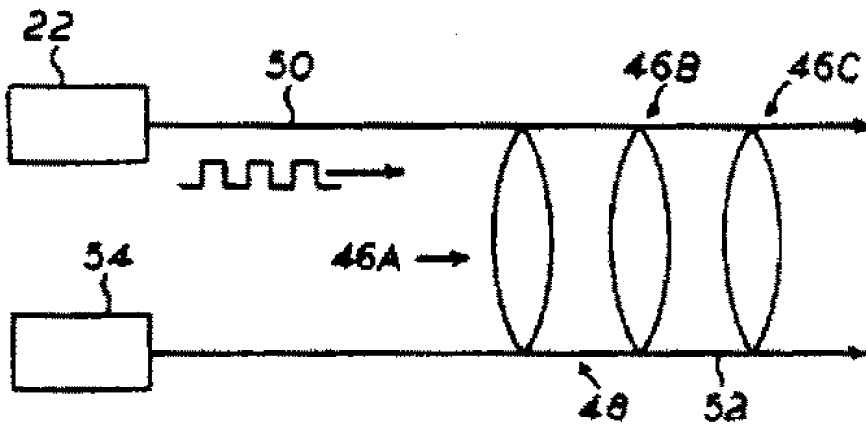
도면1



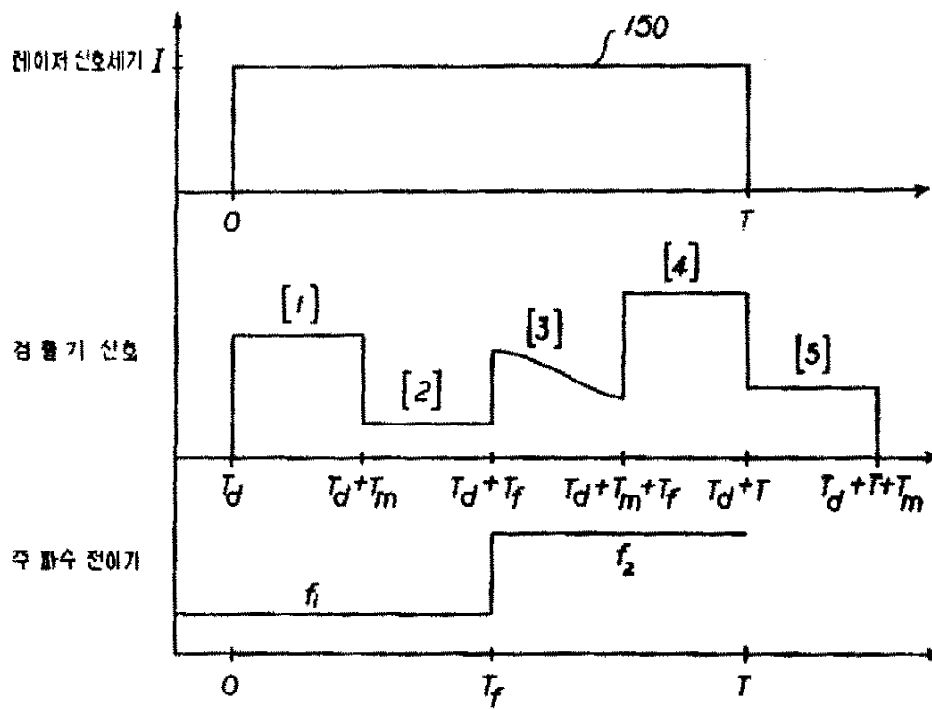
도면2



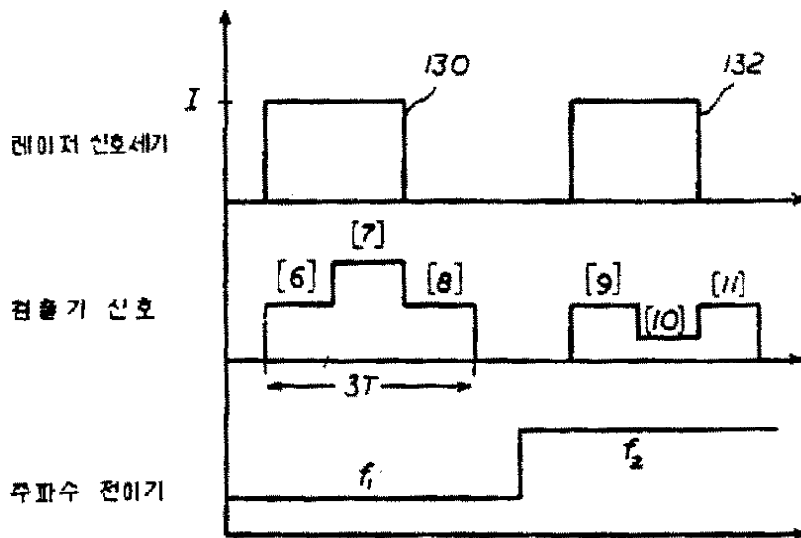
도면3



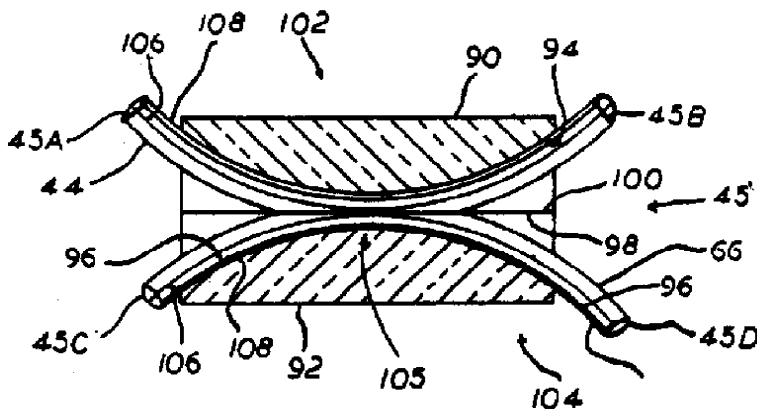
도면4



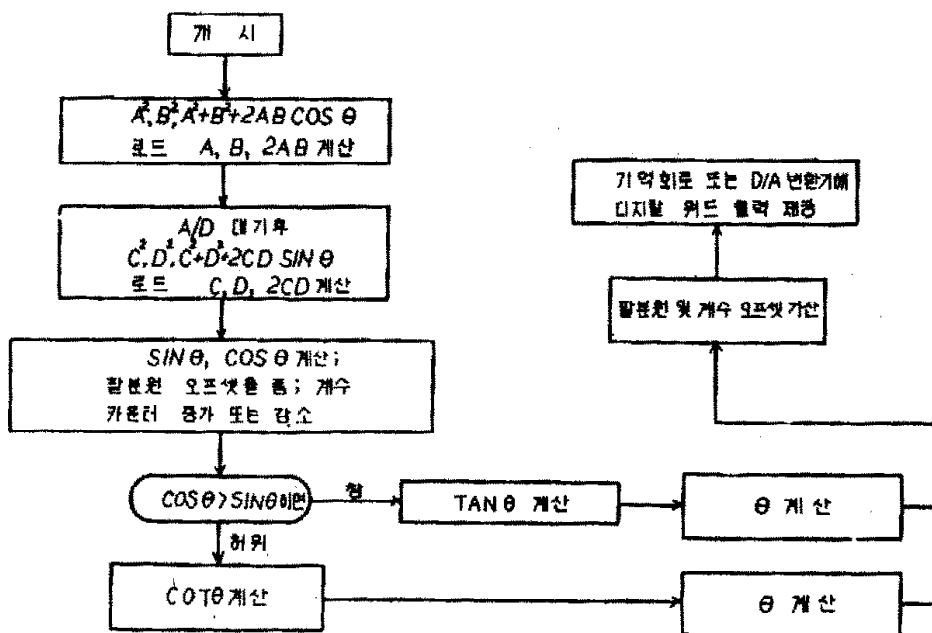
도면5



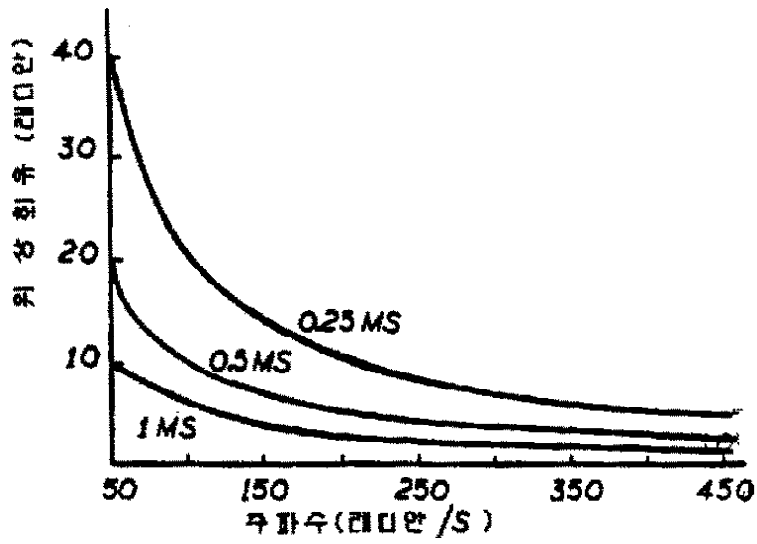
도면6



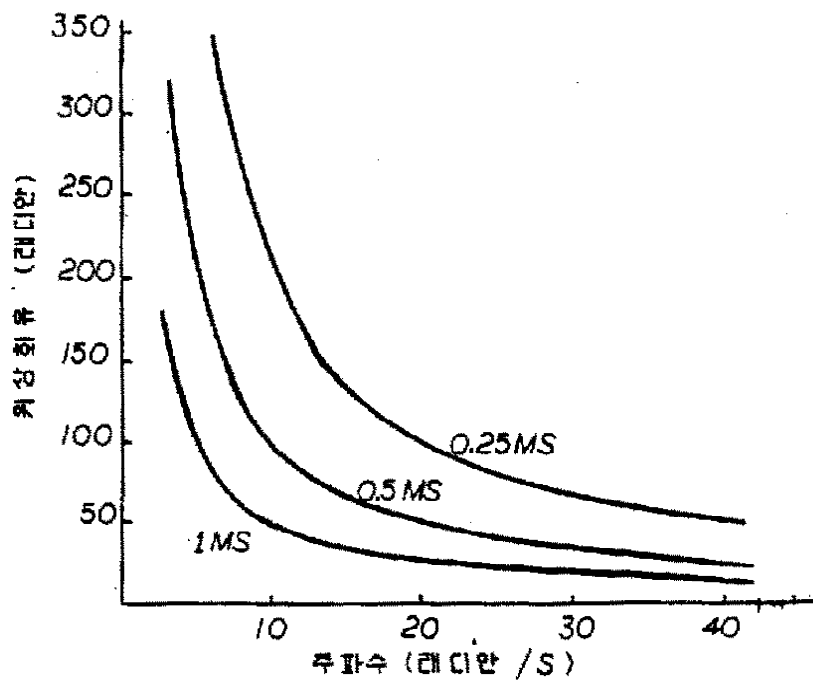
도면7



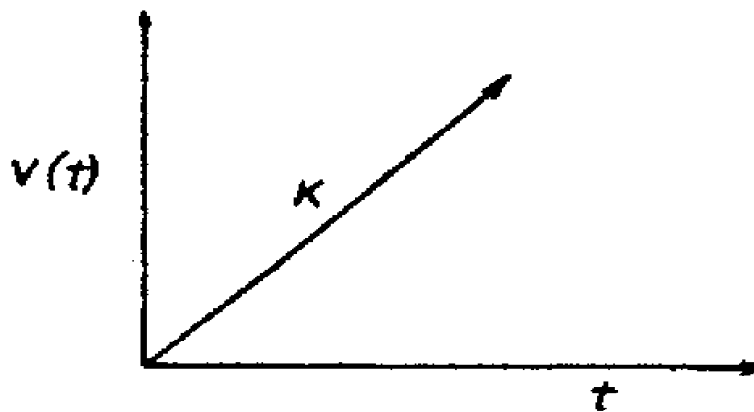
도면8



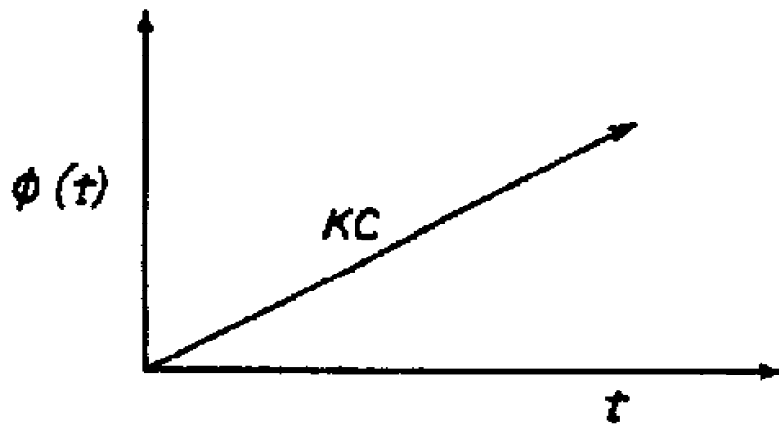
도면9



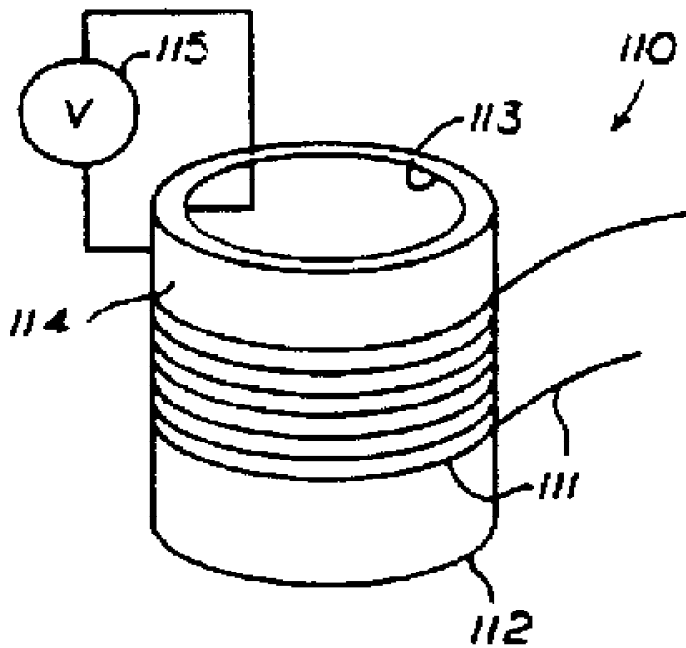
도면10A



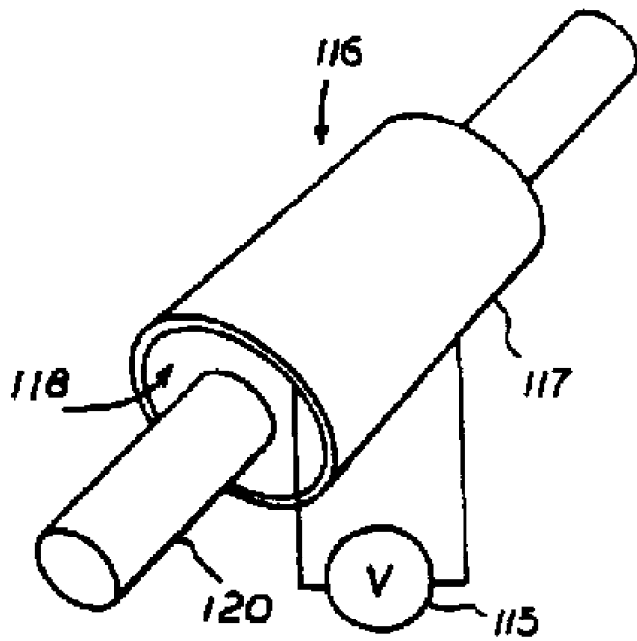
도면 10B



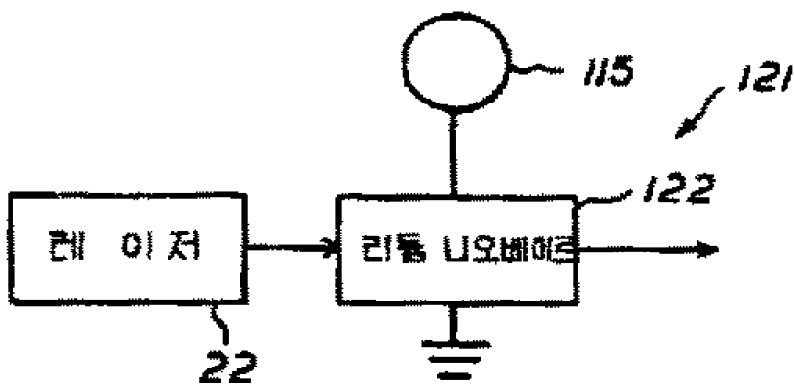
도면 11



도면 12



도면 13



도면 14

