(19)대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(51) 。Int. Cl.[7]
G01J 3/447

(11) 공개번호 10-2005-0084946
(43) 공개일자 2005년08월29일

(21) 출원번호 10-2005-7008005
(22) 출원일자 2005년05월04일
번역문 제출일자 2005년05월04일
(86) 국제출원번호 PCT/US2003/034479
국제출원일자 2003년10월28일
(87) 국제공개번호 WO 2004/045113
국제공개일자 2004년05월27일

(30) 우선권주장 10/287,995 2002년11월05일 미국(US)

(71) 출원인 코닝 인코포레이티드
미국 뉴욕 (우편번호 14831) 코닝 원 리버프론트 플라자

(72) 발명자 첸, 자인
미국, 뉴욕, 코닝, 웨스트 풀테니 스트리 315
모즈디, 에릭, 제이.
미국, 뉴욕 14903, 엘미라, 그레이스톤 드라이브 71
스테이너, 다렌, 에이.
미국, 노스트 캐롤라이나 28403, 윌밍턴, 아파트 2비,패트릭 에브뉴 4401
헌트, 티모씨, 엘.
미국, 노스트 캐롤라이나 28409, 윌밍턴, 오크 블러프레인 5753
헤론, 니콜, 에이.
미국, 노스트 캐롤라이나 28412, 윌밍턴, #303하트사이드 드라이브 4108

(74) 대리인 청운특허법인

심사청구 : 없음

(54) 광시영역 반사율 측정기를 이용한 광섬유 편광분산모드의평가 방법

요약

본 발명은 광시영역 반사율 측정기를 이용한 광섬유 편광분산모드의 평가 방법에 관한 것이다. 펄스 방사선은 시험중인 광섬유로 방출되며, 역산란 방사선은 POTDR을 통하여 측정되고, POTDR 궤적을 측정하기 위해 사용된다. POTDR 궤적은 광섬유의 길이에 따른 신호 변화와 비교하여 해석되며, 신호 변화는 광섬유의 길이에 따른 PMD 레벨의 변화와 관련된다. 높은 PMD 레벨은 낮은 변화의 국부 레벨에 대응되기 때문에, 충분히 낮은 임계치를 신호 변화에 적용하면, 수용가능하지 않은 높은 국부 PMD가 식별되고 제거된다.

대표도

도 10

색인어

광시영역 반사율 측정기, PMD, OTDR, POTDR,

명세서

기술분야

본 발명은 광섬유에 관한 것으로서, 특히 높은 레벨의 편광 모드 분산을 나타내는 광섬유를 식별할 수 있는 방법에 관한 것이다.

배경기술

편광모드분산은 첨단 광섬유 광섬유 전송 시스템의 설계에 있어서 중요한 요소이다. 광섬유 시스템에서 하나의 디지털 펄스가 시간 영역에서 네트워크으로 충분한 거리를 전파된 후에, 주변의 펄스로부터 구별되지 않을 때 편광모드분산의 효과는 명확하게 된다. 편광모드분산에서 펄스 확산은 데이터 전송에서 오류를 발생시키며, 실질적으로 연결된 광섬유 매체의 최대 거리 또는 펄스의 전송율을 제한한다.

편광모드분산은 광섬유의 기하학적인 변형과 스트레스의 비대칭성에서 발생된다. 외부적인 왜곡이 없다면, 편광모드분산은 광섬유의 길이가 증가함에 따라 내부 광섬유 복굴절율의 레벨에 의존하는 비율로 선형적으로 증가한다. 그러나, 다른 편광 모드들간의 모드 커플링을 유도하는 램덤한 외부 왜곡에 광섬유는 노출되어 있다. 외부 모드 커플링은 그것의 발생 빈도 1/ h에 의해 특징지어지며, 여기에서 h는 모드 커플링 길이이다. 장거리 영역(광섬유의 길이가 1>>h)에 있는 광섬유에게 있어서, 통계적으로 광섬유의 편광모드분산은 비트길이와 모드 커플링 길이와 밀접한 관련이 있으며, Journal of Lightwave Technology 9,821(1991)의 "짧은 및 긴 단일 모드 광섬유의 편광분산모드"에서 기술된 바와 같이 다음 (수학식 1)로 주어진다.

$$PMD = \frac{\lambda}{cL_b}\sqrt{h}$$

여기에서, λ는 광의 파장이고, c는 광속이며, L_b 광섬유의 비트길이이다. 비트 길이는 제조과정동안 광섬유에 만들어진 내부 복굴절율을 반영한다. 모드 커플링 길이는 광섬유 배열 효과를 반영하며, 광섬유 배열 환경이 변화될 때 함께 변화된다. (수학식 1)의 이해는 어떤 방식으로 PMD를 측정하고 해석할 수 있는지에 대하여 알려준다. 많은 광섬유 비트 길이와 PMD의 측정방식이 개발되었다.

(수학식 1)의 배후에 있는 가정은 광섬유가 선형의 복굴절율을 가지고 있거나 언스펀(unspun)이라는 것이다. 최근에 있어서, 광섬유 스핀은 광섬유의 PMD를 감소시키기 위해서 광섬유의 인출 공정에 도입되었다. 시장에서 판매되는 광섬유의 주요 부분은 방적(spun) 광섬유이다. 방적 광섬유에 있어서, 광섬유 복굴절율과 랜덤 모드 커플링에 의존하는것에 더하여, 광섬유 PMD는 광섬유 스핀 파라미터에 의존한다. 대부분의 경우에, 광섬유 스핀이 최적의 환경에서 작용하지 않으면(즉, 최대 PMD감소가 달성되면), 광섬유 PMD는 여전히 광섬유 복굴절율과 광섬유 비트길이(광섬유가 방적되기 전에), 모드 커플링 길이에 의존한다. 그러나, OPTICS LETTERS, Vol. 27, No. 18, 1595(2002)의 "랜덤 모드 커플링 환경에서 스핀 광섬유의 편광 모드 분산의 스케일링 특성"에서 설명하듯이, 광섬유 스핀은 (수학식 1)을 보정하기 위해서 정현파(sinusoidally) 방적 광섬유에 대하여 추가적인 요소 ---를 도입하며, 여기에서 J_0는 0차 베쎌 함수(Bessel function), α는 스핀 크기 및 η는 정현파 프로파일의 각주파수이다.

광섬유 제작에 있어서 균일한 낮은 PMD를 갖는 광섬유를 제작하는데 관심이 있으며, 특별히 높은 데이터율과 원거리 전송 시스템을 제작하는데 집중되고 있다. 불행하게도, 광섬유의 전체 길이에 대한 직접적인 광섬유 PMD를 스크린하는 것은 어렵고 비용이 많이드는 과정이다.

전통적으로 PMD의 측정은 일반적으로 시험중인 전체 광섬유에 대한 전체 차등 군 지연(DGD;Differential Group delay)를 얻는 것과 관련되어 있다. 광섬유 DGD값이 합리적인 레벨 이상으로 증가되면, 적어도 시험중인 광섬유가 증가된 PMD를 가지며, 결과적으로 사용될 수 없다. 반대로, 광섬유의 DGD값이 낮으면, 광섬유 PMD가 수용가능하다. 그러나, 실질적으로, 광섬유의 PMD는 분산된 성질을 가지고 있으며, 따라서 광섬유의 PMD는 광섬유의 길이를 따라 부분적으로 변화한다. 전체 광섬유는 광섬유 분절들의 접합에서 모드 커플링을 가지는 흐트러지지 않은 광섬유 분절들의 연결로 이해될 수 있다. 광섬유의 큰 앙상블에 있어서, 전체 DGD는 (수학식1)에서 보여준 바와 같이 통계적인 동작을 따르며, 모드 커플링, DGD 값이 광섬유의 하나의 분절과 다른 광섬유 분절에서 부분적으로 상쇄되기 때문에 전체 광섬유는 낮은 DGD를 보여준다. 시험중의 광섬유의 전체 DGD의 낮은 값은 광섬유가 반드시 균일한 낮은 PMD값을 갖는 것을 의미하지 않는다. 그러한 광섬유가 현장에서 사용되고 모드 커플링 환경이 변화되면, 광섬유가 높은 DGD 값을 나타낼 수 있다.

광섬유 제조 설비에서 PMD를 측정하는 것은 공정 능력에 기반한 샘플 주파수를 이용하여, 광섬유의 적은 퍼센트를 측정하는 것과 관련되어 있다. PMD의 시험중에는 약 1km를 가지는 광섬유 샘플은 낮은 텐션(tension)압력을 갖는 큰 직경의 측정 스풀(spool)에 감겨 있다. 이러한 구성은 벤딩(bending) 및 와인딩 텐션(winding tension)에 의해 유도되는 복굴절율 및 PMD가 최소임을 보증한다. 비록 이런 타입의 측정이 시험중에 있는 광섬유의 특별한 분절에 대한 정확한 결과를 산출하지만, PMD의 분산 특성 때문에 수용할 수 없는 PMD 레벨값을 가지는 모든 광섬유를 필터링하는 것은 어렵다. 추가적으로, 이런 방식의 스크린은 샘플링 광섬유가 재사용될 수 없기 때문에, 고비용이다. 그럼으로, 광섬유 PMD의 분산 특성을 고려한 견실한(robust) 스크린 방법이 필요하다.

따라서, 쉽게 사용할 수 있는 높은 PMD를 갖는 광섬유를 식별하는 간접적인 방법은 낮은 PMD 광섬유에 비하여 측정(품질 제어) 비용을 감소시켜 전제 제조 비용을 감소시킨다는 점에서 산업에 매우 유용하다.

발명의 상세한 설명

본 발명은 광섬유에 있어서, 편광 모드 분산을 측정하는 방법에 관한 것이다. 방사선은 광섬유의 길이로 방출된다. 방사선은 바람직하게 펄스 방사선이며, 레이저 광원으로부터 나올 수 있다. 광섬유 길이에 따른 역산란 방사선의 강도 변화에 대한 정보를 얻기 위해 주사된 방사선에 대한 역산란 또는 후방 반사된 방사선을 측정하고 분석된다. 수용가능하지 않는 PMD 레벨을 보여주는 광섬유 길이 영역을 식별하기 위하여 강도 변화는 광섬유의 편광 모드 분산의 레벨과 관련지어진다. 그러한 측정은 광섬유를 파괴하지 않고 광섬유 길이의 어떤 지점에서 지정된 임계치를 광섬유의 PMD가 상위하는지 여부를 결정하기 위해 사용된다.

펄스 방사선를 주사하고 광섬유로부터 역산란 또는 후방 반사되는 방사선을 측정하기 위한 바람직한 소스는 광시영역반사율측정기(OTDR; Optical Time Domain Reflectormeter)이다. OTDR가 광섬유의 다양한 특성을 측정하기 위해 사용되지만, 일반적으로 광섬유의 감쇠 및 광섬유에서 파손되고(break) 끊어진(discontinuities) 위치를 측정하기 위해 사용된다. 여기에서 OTDR을 사용하여, 광도파로 광섬유로 광을 전송할 수 있고, 디텍터를 향하여 역산란되는 광섬유의 작은 분획(fraction)을 관찰할 수 있다. 일반적인 OTDR은 광섬유 길이로 역산란 방사되는 광의 세기를 분해할 수 있다. 대부분의 OTDR은 펄스 방사를 시험중인 광섬유로 방사하고, 주어진 시간에 역산란되는 방사광을 측정하여 달성한다. 일반적인 펄스폭이 0.5m(5ns)에서 2000미터(20ms) 범위에 주어지지만, 본 발명에서는 5내지 200ns가 주어지며, 더욱 바람직하게는 30내지 150ns가 주어지며, 더욱더 바람직하게는 50내지 100ns가 주어진다. 바람직하게, OTDR은 편광된 OTDR(POTDR; Polarization OTDR)이며, 편광된 방사광을 주사하고 편광된 역산란 방사광을 측정하는 OTDR이다.

본 발명에 따른 바람직한 일실시예는 광섬유의 길이에 따른 다른 영역들에 비해 변화가 더 낮은 또는 더 높은 영역을 식별하는 것과 관련이 있으며, 그렇게 함으로 광섬유의 길이에 따른 편광 분산 모드가 더 높은 또는 더 낮은 영역을 식별하는 것과 관련이 있다. 이것은 예를 들면 윈도우 안에서 표준편차(바람직하게 로그 스케일)가 계산되는 데이터에 대한 슬라이딩 윈도우를 분석하거나, 광섬유의 길이에 따른 국부 변화에 대한 정보를 산출하기 위하여 광섬유의 길이에 따른 세로로 데이터 윈도우를 움직여서 얻을 수 있다. 다른 실시예에서는, 광섬유의 PMD 값이 어떤 레벨 이상이면, 신호 변화(VOS;Variation of signal)이 예정 임계치 아래로 떨어진다. 그런 경우에 예정 임계치 이하로 떨어지는 광섬유는 쉽게 식별할 수 있고 사용하지 않을 수 있다. 예정 임계치는 동일한 유형의 많은 광섬유에 대하여 실제로 측정한 편광 모드 분산에 대한 신호 변화를 맵핑하여 선택할 수 있다. 이렇게 함으로, 주어진 PMD 레벨에 대하여 통과시키거나 폐기할 광섬유의 상한과 하한의 신호 변화 레벨을 결정할 수 있다.

본 발명에 따른 방법과 장치는 PMD를 측정하는 종래 방법에 비하여 많은 이점을 가진다. 첫번째로, 본 발명에 따르면 PMD 측정이 광섬유를 파괴하지 않고도 광섬유의 길이에 따른 분산된 방법으로 행해질 수 있도록 한다. 결과적으로, 이러한 방법은 새로 제조된 광섬유 뿐만 아니라 이미 전송 시스템에 설치된 광섬유에 대하여도 가능하도록 한다. 본 발명은 많은 테스트 데이터에 근거할 때 방적 및 미방적 광섬유 제품에 유용하고 유효하다. 상용화된 OTDR을 사용하는 것 이상으로 높은 공간적 분해능을 갖는 OTDR은 불필요하다. 더욱 중요하게는, 본 발명에서 개시된 방법에 따르면, 광섬유를 파괴하지 않고 광섬유의 길이를 따른 광섬유의 PMD를 측정하는 것이 가능하다. 본 발명에서 설명된 방법을 사용하여, 15km보다 긴 광섬유에 대하여 그리고 25km보다 긴 광섬유에 대해서도 PMD를 성공적으로 분석할 수 있다. 사실상, 본 발명에 따르면, 50km보다 긴 광섬유에 대하여 PMD를 성공적으로 평가할 수 있다.

도면의 간단한 설명

도 1은 본 발명에 이용되는 POTDR(Polarization OTDR)을 나타내는 도면이다.

도 2는 본 발명에 이용되는 대안 POTDR을 나타내는 도면이다.

도 3은 도 1 또는 도 2에 도시된 장치중 하나를 이용하여 획득된 보정되지 않은 일반적인 POTDR궤적을 나타내는 도면이다.

도 4는 감쇠에 의해 발생되는 하향 기울기가 제거되고 중요 부분에 대하여 Y-축이 재스케일링(re-scaled)되어 있는 도 3에 도시된 동일한 비방적 광섬유에 대한 본 발명에 따른 POTDR 궤적을 나타내는 도면이다.

도 5는 X-축의 더 중요한 짧은 길이 범위에 대한 도 4의 일부 데이터에 대하여 상세하게 나타내는 도면이다.

도 6은 10km부터 14km 사이에 0.09ps/sqrt(km)의 PMD를 가지는 광섬유를 내장하고 있는 표준적인 단일모드광섬유에 대하여 본 발명에 따른 POTDR 궤적을 나타내는 도면이다.

도 7은 10km부터 14km 사이에 0.22ps/sqrt(km)의 PMD를 가지는 광섬유를 내장하고 있는 표준적인 단일모드광섬유에 대하여 본 발명에 따른 POTDR 궤적을 나타내는 도면이다.

도 8은 10km부터 14km 사이에 0.49ps/sqrt(km)의 PMD를 가지는 광섬유를 내장하고 있는 표준적인 단일모드광섬유에 대하여 본 발명에 따른 POTDR 궤적을 나타내는 도면이다.

도 9은 10km부터 14km 사이에 0.09ps/sqrt(km)의 PMD를 가지는 광섬유를 내장하고 있는 표준적인 단일모드광섬유에 대하여 100ns 펄스폭을 사용하여 본 발명에 따른 POTDR의 신호 변환(VOS; variation of signal) 궤적을 나타내는 도면이다.

도 10은 10km부터 14km 사이에 0.22ps/sqrt(km)의 PMD를 가지는 광섬유를 내장하고 있는 표준적인 단일모드광섬유에 대하여 100ns 펄스폭을 사용하여 본 발명에 따른 POTDR의 신호 변환(VOS; variation of signal) 궤적을 나타내는 도면이다.

도 11은 10km부터 14km 사이에 0.49ps/sqrt(km)의 PMD를 가지는 광섬유를 내장하고 있는 표준적인 단일모드광섬유에 대하여 100ns 펄스폭을 사용하여 본 발명에 따른 POTDR의 신호 변환(VOS; variation of signal) 궤적을 나타내는 도면이다.

도 12는 광섬유의 길이를 따라 상대적으로 높은 PMD를 가지고 있는 광섬유(비의도적으로 내장 스플라이스 PMD 광섬유을 가지는)에 대한 처리된 POTDR 데이터를 나타내는 도면이다.

도 13은 도 12에 도시된 데이터를 획득하기 위해 사용되는 동일한 광섬유에 대한 1km 단위의 PMD값과 비교하여 본 발명에 따른 VOS POTDR 궤적을 나타낸 도면이다.

도 14는 고정된 OTDR 펄스폭(50ns 또는 10m의 물리적인 펄스폭)에 대한 광섬유 비트 길이의 함수로 나타나는 신호 변환(피크와 피크의 높이)의 범위를 나타내는 도면이다.

도 15는 호스트 광섬유의 가운데 부분에 의도적으로 내장된 상대적으로 높은 PMD를 가지는 PMD를 감소시키기 위하여 방적된 일반적으로 제조된 광섬유부터 획득한(100ns의 펄스폭을 가짐) POTDR 궤적을 나타내는 도면이다.

도 16은 도 15에 도시된 데이터를 얻기 위해 사용한 동일한 광섬유에 대한 VOS POTDR 궤적을 나타내는 도면이다.

실시예

도 1은 본 발명의 방법을 실행하기에 적합한 배열을 보여주는 예시도이다. 도 1에서, 일반적인 OTDR(10)는 레이저광의 펄스를 광도파로 광섬유로 전송하기 위해 사용된다. 상기 OTDR는 테스트를 위해 광섬유로 광펄스 열을 주사할 수 있다. 상기 OTDR은 동일한 광섬유의 끝단에서 역산란되는 광을 추출할 수 있다. 리턴 펄스의 강도는 시간 함수로 측정되고 적분되며 광섬유 거리 함수로 도시될 수 있다. OTDR(10)은 PMD를 측정하기 의해 광섬유(12)로 펄스 방사를 발생시킨다. 도1의 실시예에서는 두 개의 광 서큘레이터(14, 16) 및 두 개의 편광기(18, 19)가 사용된다. 광서큘레이터(14, 16)은 테스트 환경에서 OTRD를 광섬유로 방사되는 초기 펄스가 루프를 이루도록 구성된다. rayleigh 역산란에 의해, 약간의 광은 OTDR을 향하여 광섬유에서 후방으로 반사된다. 바람직한 실시예에서는, 이러한 역산란 펄스는 다른 경로로 OTDR로 분기된다. 예를 들면, 도1의 실시예에서, 역산란 펄스는 역산란광의 앞에 놓여 있는 편광 분석기(실질적으로는 편광기)(18)을 통하여 OTDR 내부에 있는 디텍터에 도달하도록 경로가 정해진다. 유의할 것은 도시된 광서큘레이터(14, 16)에서 오직 포트2만이 광의 출입을 허용한다는 점이다. 다른 모든 포트를 경유하는 광은 단방향성이다. 특별히, 포트1로부터 포트2로, 포트2로부터 포트3의 경로를 가지는 광은 단방향성이다. 도 1에 예시된 정렬은 상업적인 OTDRs에서 찾아 볼 수 있는 것처럼 만약 OTDR로부터 방사되는 광펄스가 이미 편광되어 있다면 OTDR로 돌아오는 것을 허용한다. OTDR이 이미 편광된 광을 방사하면(일예로 POTDR), 광서큘레이터(14)의 포트 3과 광서큘레이터(16)의 포트1 사이의 편광기(19)는 불필요하며, 이에 따라 하나의 손실원이 제거되기 때문에 POTDR에 대한 동작 범위를 연장하는 것이 가능하게 한다.

도 2는 본 발명을 적용할 수 있는 단순하고 저비용의 POTDR의 예시도로서, 도1의 실시예에 사용된 광서큘레이터의 사용을 피하고 있다. 도2의 실시예에서는 OTDR(10)은 테스크 환경에서 주사하는 광의 양을 최대로 하기 위해 사용되는 편광 제어기(20)를 통하여 주사하고 있다. 종래 기술에 의하면 다양한 종류의 편광 제어기가 알려져 있다. 편광 제어기의 목적은 편광기(18)로 입사하는 광섬유의 편광상태를 정렬하기 위한 것이다. 얼마의 간단한 편광 제어기는 광섬유의 길이를 따라 광섬유의 외주면에 서로 다른 위치에 부착되어 있는 하나 또는 더 많은 레버로 이루어져 있으며, 편광기로 입사되는 광의 양을 최대로 할 수 있는 광섬유의 편광 상태를 유지하도록 광섬유의 일부분을 비틀 수가 있다. 편광 제어기(20)를 통과한 펄스광은 인라인 광섬유 편광기(18)를 경유하여 시험중인 광섬유(12)로 향한다.

도 1 및 도 2에 개시된 인라인 광섬유 편광기(18, 19)는 두가지 주 목적을 수행한다. 첫 번째 목적은, 비록 인라인 광섬유 편광기가 없이도 테스트를 위한 광섬유로 입사되는 광이 편광되도록 할 수 있지만(일예로 이미 편광된 광을 방사하는 OTDR가 사용되는 경우처럼), 도 1의 인라인 광섬유 편광기(18)와 도 2의 인라인 광섬유 (18)은 테스트를 위한 광섬유로 입사되는 광이 편광되도록 한다. 더욱 중요하게는, 도1의 인라인 광섬유 편광기(18)과 도2의 인라인 광섬유 편광기(18)은 시험중인 광섬유의 편광상태의 정보를 가지고 있는 시험중인 광섬유에서 OTDR를 향하는 역산란 광을 분석한다. 광섬유(12)로부터 역산란되는 광을 분석하기 위한 편광기가 없다면, OTDR은 단지 광 펄스의 전체 강도를 검출한다. 그러나, 광섬유 편광기(18)를 이용하여 광섬유의 편광 상태와 대한 정보를 얻을 수 있다. 기하학적인 비대칭성과 스트레인이 광도파 광섬유가 생성하는 복굴절율의 원인이다. 결과적으로, 광섬유를 경유하는 광펄스의 편광 상태는 광이 역반사될 때 전방 전파 방향과 후방 전파 방향의 둘다에 있어서 계속해서 증가한다. OTDR의 디텍터(10)의 앞단에 위치하여 편광 분석기로 동작하는 편광기(18)의 삽입은 광섬유의 서로 상이한 위치에서 편광 정보를 얻을 수 있음을 보증한다.

도 3은 도 2의 장치를 셋업하여 획득된 킬러미터 단위의 광섬유의 거리에 따른 dB 단위의 로그 스케일로 표시되는 신호를 가진 미처리된 POTDR 궤적을 예시한다. 도1에 도시된 장치를 이용하여 또한 유사한 결과를 얻을 수 이다. 광섬유의 감쇠 때문에, 일반적인 표준의 OTDR 궤적과 같이 POTDR 궤적은 거리에 따라 아래쪽으로 향하는 기울기를 가진다.

비록 본 발명에서는 요구되지는 않지만, 감쇠 효과가 제거되는 것이 바람직하다. 마찬가지로, 심각하게 본 발명을 방해하는 것이 아니라면, 바람직하게 데이터를 제로 근처로 집중화될 수 있다. 예를 들면, 전체 데이터 셋에 대한 최적합은 광섬유의 감쇠를 보정하는 기울기를 가지는 직선을 적용하고, 선형 회귀 분석법을 사용하여 찾을 수 있다. 따라서, 원래 신호에서 선형 라인을 빼게 되면 처리된 데이터는 단지 편광에 대한 정보를 전달한다. 도 4 및 도 5는 이러한 과정에 의한 처리된 데이터를 보여준다. 도 4에 도시된 궤적에서, 광섬유의 감쇠 때문에 발생하는 전체적인 신호의 드랍을 보정하고, 제로 근처로 데이터를 집중화할 수 있다.

도 5는 더 작은 공간 스케일에서 처리된 POTDR 궤적(도 3 및 도 4의 데이터와 같은)을 보여주며, 공간 신호들에서 명확한 주기적인 변조를 보여준다. 도 5에서 궤적의 주기적인 성격은 광섬유의 선형 복굴절율 때문이다. 편광 분석기(편광기)를 사용하면, 테스트 환경의 광섬유에서 역산란되는 광펄스의 편광 상태에 대한 정보를 제공한다. 광섬유가 주로 선형의 복굴절율을 가지고 있기 때문에, 주기적으로 광섬유를 따라 편광 상태는 증가된다. 피크와 피크의 공간은 광섬유의 비트길이의 절반이다. 광섬유 비트길이는 두 개의 편광 차분 모드가 광섬유의 길이를 따라 하나의 광파장의 지연을 누적한 것이다. 광펄스는 일반적인 OTDR 구조에서 광섬유의 동일한 부분을 두 번 지나간다. 단지 비트길이의 절반만이 하나의 광파장의 지연을 누적하기 위해 필요하다.

주기적인 변조의 동작은 단순한 모델을 사용하여 이해될 수 있다. 이러한 단순한 모델에 있어서, 전체 광섬유는 모드 커플링을 가지지 않는 손실없는 선형 복굴절율의 중계선으로 간주된다. 우리는 첫 번째로 이러한 선형 복굴절율의 광섬유의 죤스 행렬(Jones Matrix)를 얻는다.

$$T(z)=\begin{pmatrix} \cos(\frac{\omega\tau_0 z}{2})+i\sin(\frac{\omega\tau_0 z}{2})\cos(2\theta) & i\sin(\frac{\omega\tau_0 z}{2})\sin(2\theta) \\ i\sin(\frac{\omega\tau_0 z}{2})\sin(2\theta) & \cos(\frac{\omega\tau_0 z}{2})-i\sin(\frac{\omega\tau_0 z}{2})\cos(2\theta) \end{pmatrix}$$

여기에서, ω는 광의 각주파수이며, τ_0 는 단위 길이당 차등 군 지연이며, Θ는 빠른축(fast axis)의 방향이며, z은 광섬유의 위치이다. OTDR에서, 광은 또한 역산란되며, 리턴 트립(return trip)을 묘사하는 죤스 행렬은 단순히 행렬 T(z)의 트랜스포즈이다. 따라서 라운트 트립(round trip) 죤스 매트릭스는 다음 (수학식 3)으로 표시된다.

$$M=T^T\cdot T=\begin{pmatrix} \cos(\omega\tau_0 z)+\cos(2\theta)\sin(\omega\tau_0 z) & \sin(2\theta)\sin(\omega\tau_0 z) \\ \sin(2\theta)\sin(\omega\tau_0 z) & \cos(\omega\tau_0 z)-\cos(2\theta)\sin(\omega\tau_0 z) \end{pmatrix}$$

그리고, 각도 ϕ로 정렬된 편광자는 다음 (수학식 4)로 표현된다.

$$P(\phi)=\begin{pmatrix} \cos^2(\phi) & \sin(\phi)\cos(\phi) \\ \sin(\phi)\cos(\phi) & \sin^2(\phi) \end{pmatrix}$$

따라서, 왕복 여행후(Round trip traveliong)후의 정규화된 전기장은 다음 (수학식 5)로 표시된다.

$$\begin{pmatrix} E_{x,out} \\ E_{y,out} \end{pmatrix}=P(\phi_2)\cdot M\cdot\begin{pmatrix} \cos(\phi_1) \\ \sin(\phi_1) \end{pmatrix}$$

도 1 에 예시된 장치의 경우에는 편광자 정렬 각이 일반적으로 두 개의 상이한 값을 갖지만, 도 2 의 장치의 경우에는 단지 하나의 편광자가 사용되기 때문에 하나의 값을 갖는다. POTDR에서 주기적인 변조의 양상을 예시하기 위해서 여러개의 특별한 편광자 각 방향을 추정하고, 광섬유 복굴절율 축의 방향을 추정한다. 여기에서, 우리는 $\Phi_1 = \Phi_2 = 0$ 및 $\Theta = 45°$. 따라서 왕복후의 출력 전기장은 다음 (수학식 6)으로 표시된다.

$$\begin{pmatrix} E_{x,out} \\ E_{y,out} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\omega\tau_0 z) \\ 0 \end{pmatrix}$$

정규화된 전력 P_N은, $P_N = \cos^2(\omega\tau_0 z) = \frac{1}{2}(1+\cos(2\omega\tau_0 z))$

실제 광섬유는 길이에 따라 감쇠가 일어난다. 이러한 효과와 더불어, 디텍터에 도달할 수 있는 실제 전력을 찾을 필요가 있다. 전체 전력은 다음 (수학식 7)로 주어진다.

$$P_T = P_s \cdot P_N$$

Ps는 표준적인 OTDR에서 디텍터를 향한 역산란광의 강도이며, 다음 (수학식 8)로 표시된다.

$$P_S(z) = S \cdot \alpha_s \cdot D \cdot P_0 \cdot e^{-2\alpha z} = P_{S0} \cdot e^{-2\alpha z}$$

여기에서 α_s은 산란 계수이며, α은 전체 감쇠 계수이며, P_0은 OTDR 펄스의 피크 전력이며, D는 광섬유에서 광펄스의 물리적인 폭이다. 따라서, OTDR 디텍터가 검출하는 전체 전력은 다음 (수학식 9)로 나타낼 수 있다.

$$P_T = S \cdot \alpha_s \cdot D \cdot P_0 \cdot e^{-2\alpha z} \cdot \frac{1}{2}(1+\cos(2\omega\tau_0 z)) = P_{S0} \cdot e^{-2\alpha z} \cdot \frac{1}{2}(1+\cos(2\omega\tau_0 z))$$

여기에서, 광섬유 비트 길이에 대한 공간 주기 사이의 연관을 찾을 수 있다. 광섬유 PMD 또는 단위 길이 DGD는 광섬유 비트길이는 단순히 $\tau_0 = \frac{\lambda}{cL_b}$ 에 의해 관련되어 있으며, 여기에서 λ는 광파장이고, c는 광속이고, L_b는 광섬유 비트길이이다. 따라서, 우리는 정규화된 전력을 (다음 수학식 10)과 같이 위치 및 광섬유 비트길이의 함수로 표현할 수 있다.

$$P_N = \frac{1}{2}(1+\cos(\frac{4\pi z}{L_b}))$$

전체 강도 또한 (수학식7)을 사용하여 간단한 방법으로 구할 수 있다. (수학식 10)은 주기 $L_b/2$에서 신호의 변조를 보여주며, 위에서 설명한 직관적인 논의와 일치한다.

(수학식 1)에서 알 수 있는 바와 같이, 광섬유 비트길이는 광섬유 PMD를 가지고 명확하게 보정되며, 광섬유 비트길이는 광섬유 PMD 레벨을 측정한 것이다. 이 수학식으로부터 비트 길이의 측정은 광섬유 PMD의 스크린을 위해 사용될 수 있음을 알 수 있다. 그러나, 대부분의 광섬유들은 복굴절율에서 있어서 비균일한 다른 레벨을 나타낸다. 결과적으로, 가변되는 비트길이를 가진 광섬유는 비록 명확한 주기적인 POTDR 궤적을 보이지는 않지만 수용가능한 PMD를 보여준다. 그리고, 광섬유 비트길이가 POTDR의 분해능 아래로 떨어질 수 있으며, 그 경우에 광섬유 비트길이에 의해서는 평가를 할 수 없거나 잘못된 평가가 된다. 이것은 직접적인 광섬유의 비트길이의 측정은 광섬유의 PMD 스크린이 견실성을 보장하지 못함을 의미한다. 시간 영역에서 다양한 POTDR 신호를 관찰하면, 직접적인 광섬유 비트길이 측정에 있어서 공간 분해능의 엄격한 사양을 극복할 수 있다.

본 발명의 방법은 도 4 및 도 5에 도시된 바와 같이, 직접적으로 광섬유 PMD 레벨과 관련이 있는 POTDR 궤적의 변동(일예로 로그 스케일의 신호 크기)을 측정하는 것에 기초를 두고 있다. 예를 들면, 본 발명의 바람직한 일실시예에서, 일예로 도 3 및 도 4에 도시된 데이터에 대하여 윈도우 크기는 500m가 사용되며, 그 윈도우에서 처리된 POTDR의 표준 편차를 계산할 수 있다. 선형 스케일로 표준 편차가 계산할 때, 바람직하게 로그 스케일을 사용하여 계산할 수 있다. 바람직한 데이터 윈도우의 변화는 500내지 1000m이다.광섬유의 길이에 따라 데이터 윈도우를 변화시키고, 계속해서 광섬유를 따라 표준 편차를 계산하면, 신호 변화(VOS; variation of signals)라고 부를 수 있는 새로운 테이터 세트를 얻을 수 있다. 윈도우 크기는 하나의 VOS 데이터 포인트를 계산하기 위해 사용되는 데이터 폭을 가르킨다. 넓은 윈도우 크기는 적은 변환의 VOS를 산출한다.

위에서 설명한 원리를 예시하기 위해, 도 6-11은 본 발명의 일실시예에 따른 PMD의 차분 레벨을 가지는 광성유에 내장된 단일 모드 비방적광섬유(선형 복굴절율)에대한 POTDR 궤적을 예시하고 있다. 특별히 결함이 있는 광섬유는 도 6에 도시된 바와 같이 PMD 값이 0.09ps/sqrt(km)를 가지며, 도 7에 도시된 바와 같이 0.22ps/sqrt(km)를 가지며, 도 8에 도시된 바와 같이 0.49ps/sqrt(km)를 갖는다. 도 9내지 도 11은 500미터 슬라이드 데이터 윈도우에 기반한 VOS를 보여준다. 도 6-8의 데이터를 산출하기 위해 사용되는 광섬유는, 동일하게 도 9-11의 데이터를 산출하기 위해 사용된다. 각각의 경우에 있어서 도 6-11에 도시된 광섬유에 있어서, 결함이 있는 광섬유는 10-14km 주변에 위치하고 있다. 도 6-11에 도시된 모든 데이터는 위에서 논의한 바와 같이 감쇠 효과가 제거된 것이다. 측정은 50ns의 펄스폭과 25km의 광섬유 길이를 가지고 있는 POTDR에 기반한 HP8147 OTDR(미국 캘리포니아에 위치한 Agilent technologie가 제작한)에 의해 행하진다. 도 6-8에 상세하게 예시된 바와 같이, 결함 PMD 레벨이 증가하면, 신호의 가변 범위가 감소하고, 결함 부분은 정상적인 호스팅 광섬유와 비교하여 명확해진다. 이러한 눈에 보이는 관찰은 도 9-11에서 보여주는 VOS의 발생에 의해 더 잘 측정된다. VOS는 결함 광섬유의 PMD가 상승할 때 떨어진다.

도 6-11에서 사용된 광섬유는 PMD 결함으로 알려진 스플라이드-인(spliced-in) 광섬유 부분을 가지고 있는 광섬유가 사용된다. 본 발명의 방법의 성능을 완전히 알 수 있도록, PMD 결합을 가지고 있는 부분을 내장하지 않는 광섬유를 준비한다. 100ns OTDR 펄스폭을 가지고 데이터는 획득된다. 이 광섬유에서 처리된 POTDR 데이터는 도 12에 예시되어 있으며, 도 12는 이 광섬유의 매우 비균일한 PMD양을 보여준다. 이것은 도 13의 VOS 도시에 의해 확인되며, VOS 데이터와 실제 측정 PMD 데이터를 보여준다. 이를 위해, 시험중인 광섬유를 1km를 갖는 24개 부분으로 절단한다. 각각의 부분에 대한 PMD가 측정되며, 도 13의 대시선(dash line)으로 표시된다. 광섬유의 길이를 따른 영역에 있어서 높은 VOS를 가지면, 낮은 PMD를 갖고, 광섬유의 길이에 따른 영역에 있어서 낮은 VOS를 가지면, 높은 PMD를 갖는다.

위에서 설명한 바와 같이, 주어진 OTDR 펄스 폭과 시험중의 광섬유에 있어서, 본 발명을 사용하여 처리한 것에 따른 궤적에서 보여주는 상당한 변화량은 실질적으로 국부적인 편광 모드 분산을 보정할 수 있게 해준다. 이러한 이해는 수킬로미터의 긴 광섬유의 길이에 있어서 아주 국부적인 부분(200m보다 짧은)에서 높은 PMD를 가지는 광섬유를 스크린하는 과정을 진행할 수 있도록 한다. 이렇게 함으로, 결함이 있어 폐기될 광섬유의 임계치를 정할 수 있다. POTDR로부터 얻은 VOS와 광섬유 PMD 사이의 보정을 이루기 위해서, 임계치 아래에서부터 임계치 위까지의 범위에서 광범위하게 변화하는 PMD 레벨을 가지는 광섬유 샘플을 적당히 선택한다. 다음으로, 주어진 OTDR 펄스 폭에서 이러한 광섬유의 VOS를 얻는다. PMD와 VOS 사이의 관계는 실험적으로 확립된다. 특별히, 광섬유가 그 임계치 아래에서는 폐기되는 값을 가지고 그 임계치 위에서는 통과되는 값을 가지는 VOS 임계치를 정할 수 있다. 예를 들면, 도 10에서, VOS의 임계치는 0.15로 세팅될 수 잇으며, 이 경우의 특별한 광섬유에서, 0.15ps/sqrt(km)의 PMD 임계치에 대응한다. 다른 말로 0.15dB의 VOS 임계치 아래에서 광섬유 PMD는 0.15 ps/sqrt(km)보다 높다. 위에서 설명한 측정 방법과 과정의 유용성은 위에서 언급된 POTDR

궤적의 공간 주기 변조를 설명하기 위한 수학적 형식을 참조하여 더 잘 이해될 수 있다. 첫 번째 관점은 OTDR로부터 모든 POTDR 신호는 로그 스케일로 표시된다. 이것은 본 발명의 여러 중요한 양상에 영향을 미친다. 수학식 7-8로부터, 디텍터에 의해 검출된 총 강도는 다음 수학식의 단순한 형식으로 표현된다.

$$P_T = P_{S0} \cdot P_N(z) \cdot e^{-2\alpha z}$$

OTDR로부터 획득된 실제 신호는 로그 스케일로 표시되면, 다음 수학식 12와 같다.

$$P_L = 5\log(P_T) = 5\log(P_{S0}) - \frac{10}{\ln(10)} \cdot \alpha z + 5\log(P_n(z))$$

수학식 12는 여러 가지 중요한 양상에 대해 시사한다. 수학식 12의 오른쪽 첫 번째 항(term)(5log(Pso))은 OTDR의 주사 전력과 광섬유 유형과 관련이 있다. 측정이 하나의 광섬유 유형에 수행될 때 이 항은 위치에 의존적이지 않다. 따라서, 첫 번째 항은 POTDR 신호의 전체 오프셋을 제공한다. 추가적으로, 하나의 측정과 다른 측정에서 주사 전력이 변화될 때 유일한 효과는 전체 신호의 오프셋이다. POTDR 신호의 변환은 주사 전력에 비례하지 않는다. 주사 전력이 하나의 측정에서 다른 측정으로 변화될 때 특별한 주의가 필요하지 않기 때문에, 이러한 양상은 전체 측정 과정을 단순화한다. 두 번째 항((10/In(10))*αz)은 광섬유 감쇠를 의미한다. 감쇠 때문에, 로그 스케일의 전체 POTDR 신호는 POTDR 신호의 국부 파동에 내장된 편광 정보를 가지는 음의 기울 직선을 의미한다. 위에서 설명한 바와 같이 선형 회귀를 이용하여 직선을 제거하는 과정은 감쇠 효과인 (수학식 12)의 두 번째 항을 제거하는 것이다. 세 번째 항(5log(P_n(z))은 편광 정보를 가지고 있으며, 위치에 의존적이다. 따라서, 도 4에 도시된 바와 같이 처리된 POTDR 신호가 획득되면, 획득된 POTDR 신호는 단지 편광 효과를 나타내는 수학식 12의 세 번째 항에 의한 것이다.

OTDR 펄스는 제한된 펄스 폭을 가지고 있다. 상용된 OTDRs에서 허용가능한 최소 펄스 폭은 5ns 순이거나, 광섬유에서 대략 1m의 물리적인 길이 D이다. 광 펄스의 다르면 광섬유는 다른 편광 상태를 보여준다. 주어진 순간에, 디텍터는 위치 L과 L-D/2로부터 되돌아온 광을 측정한다. 디텍터는 실질적으로 D/2의 길이에 걸친 평균 편광 정보를 제공한다. 하나의 펄스에서 편광 변화 상태가 발생하면 더큰 복굴절율 또는 PMD를 가지는 광섬유에 대하여 더욱더 평균화가 행해진다. 도 10 및 도 11에 도시된 바와 같이 증가된 PMD를 가지고 있는 광섬유 부분에 대하여 도 10 및 도 11에서 얻어진 VOS에서 알 수 있듯이 이것은 POTDR의 감소를 초래한다. 그러한 평균을 가지고 있는 디텍터의 신호는 수학적으로 표현된다. 수학식 10은 아주 작은 펄스폭에 대하여 획득된 것이다. 펄스 폭 효과를 고려하여 L과 L-D/2 사이에 적분이 필요하다. 따라서, (수학식 13)을 얻을 수 있다.

$$P_N(L) = \int_{L-\frac{D}{2}}^{L} \cos^2\left(\frac{2\pi z}{L_b}\right) dz = \frac{D}{4} + \frac{L_b}{4\pi} \sin\left(\frac{\pi D}{L_b}\right) \cos\left(\frac{4\pi(L - D/2)}{L_b}\right)$$

(수학식 13)을 얻을 때 전체 오프셋과 감쇠와 관련된 항을 제거되며, 위에서 설명한 과정을 통하여 그러한 효과는 제거된다. 직관적으로 PN의 최대값은 $D/2 + \frac{L_b}{4\pi}\sin\left(\frac{\pi D}{L_b}\right)$, 최소값은 $D/2 - \frac{L_b}{4\pi}\sin\left(\frac{\pi D}{L_b}\right)$ 이다. OTDR의 물리적인 펄스폭과 광섬유 비트 길이의 통상적인 값에 대하여, $\sin(\pi D/L_b)$이다. 따라서,펄스 폭이 변하고 광섬유 비트 길이가 변할 때 POTDR의 변화 범위(ROV; Range of variation: peak to peak distance)를 측정하는 새로운 양을 정의할 수 있다.

$$ROV = 5\log\left(\frac{\frac{D}{4} + \frac{L_b}{4\pi}\sin(\frac{\pi D}{L_B})}{\frac{D}{4} - \frac{L_b}{4\pi}\sin(\frac{\pi D}{L_b})}\right)$$

ROV는 POTDR 신호의 변화 정도를 측정하는 면에서 VOS와 유사하다. 여기에서 ROV의 선택은 간단한 해석적인 방정식을 얻는데 유용하다. ROV 및 VOS는 하나의 상수에 의해 구별된다. 도 14에서, ROV는 고정된 OTDR 펄스폭(50ns 또는 10m의 물리적인 펄스폭)에 대한 광섬유 비트길이의 함수로서 도시된다. 광섬유 비트길이가 증가하면 광섬유의 PMD는 감소하며, ROV와 VOS는 실험으로 얻은 데이터와 일치하게 증가한다.

위에서 설명한 방법과 과정은 PMD 값이 0.05ps/sqrt(km) 이상의 값을 가지는 광섬유를 특별히 효과적으로 스크린할 수 있도록 한다. 근년에, 대부분의 광섬유의 제조에서 허용 가능한 최대 광섬유의 PMD 값은 0.1에서 0.3ps/sqrt(km)이다. 따라서, 본 발명에 따른 과정은 제조된 광섬유의 PMD 값을 스크린 하는데 유용하다.

광섬유의 와인딩(winding) 상태는 여기에서 기술한 PMD 스크린 기술에 영향을 미친다. 스크린을 위해 사용되는 광섬유는 일반적으로 10cm 또는 그보다 작은 반경을 가지고 있는 쉬핑 릴(shipping reels)에 감겨있다. 곧은 상태에서 0의 PMD를 가지고 있는 광섬유 조차도, 벤딩과 텐션은 대략 0.04ps/sqrt(km)나 그 이상의 PMD를 유도한다. 따라서, 스크린 임계치는 그러한 감긴 조건에서 임의적으로 낮추어질 수 없다. 다만, 큰 직경의 스풀에 광섬유가 감겨있을 때 가능하다.

위에서 설명한 PMD 스크린 과정에 대하여 얼마간의 OTDR 펄스폭이 효과적인 반면에, 바람직하게 약 5ns 내지 200ns의 펄스 폭 범위가 유용하며, 더욱 바람직하게 30ns에서 150ns가 더 바람직하고, 50ns에서 100ns가 더욱더 바람직하다. 과도하게 큰 펄스 폭은 하나의 광펄스에서 편광 평균의 중요성 때문에 PMD 스크린에 유효하지가 않다.

본 발명에 따른 방법은 선형 복굴절율(unspun) 광섬유의 PMD를 측정하는데 뿐만 아니라 방적 광섬유의 PMD를 측정하는데도 유용하다. 방적 광섬유에 있어서, 주기적인 스핀의 도입에 의해 공간적으로 편광 상태의 변화가 변조되기 때문에, 편광 상태를 평가하는 것이 더욱더 복잡하다. 스핀은 모드 커플링을 제어하여 광섬유의 PMD를 감소시키는 광섬유 제조 공정에 사용될 수 있다. 스핀에 의한 복잡성에도 불구하고, 위에서 논의한 PMD 스크린의 배후에 있는 원리는 여전히 유용하다. VOS는 국부 복굴절율과 광섬유의 PMD의 중요한 게이지로 사용된다. 방적 광섬유의 어느 지점의 복굴절율이 다른 지점의 복굴절율보다 높다면 고정된 OTDR 펄스폭에 대하여 평균화가 이루어진다. 실질적으로, 실험적인 데이터는 이러한 근거를 제시한다. 도 15에 있어서, POTDR 궤적(100ns 펄스폭)은 PMD를 줄이도록 방적된 통상적으로 제작된 광섬유의 샘플로부터 얻어진다. 증가된 PMD값(0.13ps/sqr(km))를 갖는 짧은 광섬유는 전형적으로 낮은 PMD값(0.02ps/squrt(km))를 가지고 있는 더 긴 호스트 광섬유의 중간에 내장된다. 도 16은 도 15에 도시된 동일한 데이터에 대한 VOS POTDR 궤적을 보여준다. 신호의 변화의 감소는 도15 및 도 16에서 뚜렷하게 보여진다. 결함이 있는 다른 레벨의 PMD를 갖는 매우 긴 광섬유 샘플에 대하여 동일한 테스트가 행해질 때, 데이터는 도 15 및 도 16에서 볼 수 있는 바와 일치한다.

(57) 청구의 범위

청구항 1.

광섬유의 길이 방향으로 펄스 방사선을 발생하는 제1 단계;

상기 광섬유에 상기 펄스 방사선이 역산란되는 방사선을 측정하는 제2 단계;

상기 측정된 역산란된 방사선의 강도 레벨의 변화를 분석하는 제 3 단계; 및

강도 레벨의 변화 수준을 상기 광섬유의 편광 모드 분산과 관련시키는 제 4 단계를 포함하여 이루어진 광섬유의 편광 모드 분산을 측정하는 방법.

청구항 2.

제 1 항에 있어서,

상기 강도 레벨의 변화는 PMD 값이 예정 임계치를 넘는 광섬유 구간을 결정하기 위해 사용되는 것을 특징으로 하는 광섬유의 편광 모드 분산을 측정하는 방법.

청구항 3.

제 1 항에 있어서,

상기 제 3 단계는,

상기 광섬유 길이에 따른 역산란 방사광의 강도 레벨의 변화를 평가하는 단계; 및

강도 변화를 이용하여 상기 광섬유에 따른 편광 모드 분산이 더 높거나 더 낮은 영역을 식별하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 광섬유의 편광 모드 분산을 측정하는 방법.

청구항 4.

제 1 항에 있어서,

상기 펄스 방사선은 OTDR에서 발생되고, 상기 측정된 역산란 방사선은 OTDR을 이용하여 측정된 것을 특징으로 하는 광섬유의 편광 모드 분산을 측정하는 방법.

청구항 5.

제 4 항에 있어서, 상기 발생된 방사선은 편광되어 있으며, 상기 측정된 방사선은 편광 분석 요소를 경유하여 OTDR로 리턴되는 것을 특징으로 하는 광섬유의 편광 모드 분산을 측정하는 방법.

청구항 6.

제 1 항에 있어서,

상기 제 3 단계는,

윈도우 전영역에 걸쳐 표준 편차를 계산하는 슬라이드 데이터 윈도우를 해석하는 단계; 및

상기 광섬유의 길이에 따른 국부 변화에 대한 정보를 산출하기 위하여 광섬유의 길이에 따라 세로로 상기 데이터 윈도우를 이동시키는 단계를 포함하여 이루어진 것을 특징으로 하는 광섬유의 편광 모든 분산을 측정하는 방법.

청구항 7.

제 6 항에 있어서,

상기 표준편차는 로그 스케일로 계산되는 것을 특징으로 하는 광섬유의 편광 모드 분산을 측정하는 방법.

청구항 8.

제 1 항에 있어서,

신호 변화는 PMD의 정도가 변화하는 광섬유에서 다양하며, 상기 광섬유의 편광 모드 분산 레벨에 대하여 상기 신호 변화는 맵핑되고, 광섬유가 통과되거나 폐기되는 수준의 상위 또는 하위에서 신호 변화 레벨은 선택되는 것을 특징으로 하는 광섬유의 편광 모드 분산을 측정하는 방법.

청구항 9.

제 6 항에 있어서,

상기 광섬유의 신호변화는 수용가능하지 않은 높은 PMD의 아래로 선택되어 지는 것을 특징으로 하는 광섬유의 편광 모드 분산을 측정하는 방법.

청구항 10.

제 1 항에 있어서,

상기 방사선의 발생은 이미 설치된 통신 시스템의 광섬유의 길이 방향으로 상기 펄스 방사선을 발생하는 것을 특징으로 하는 광섬유의 편광 모드 분산을 측정하는 방법.

청구항 11.

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 단계의 펄스 방사선의 펄스폭은 약 5 내지 200ns인 것을 특징으로 하는 광섬유의 편광 모드 분산을 측정하는 방법.

청구항 12.

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 단계의 펄스 방사선의 펄스폭은 약 30 내지 150ns인 것을 특징으로 하는 광섬유의 편광 모드 분산을 측정하는 방법.

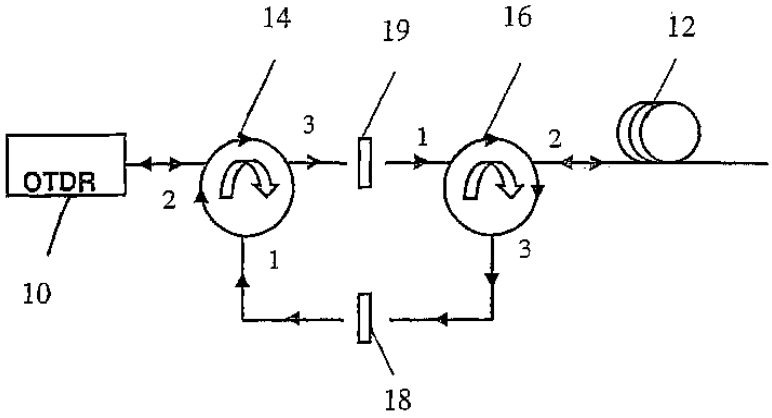
청구항 13.

제 1 항에 있어서,

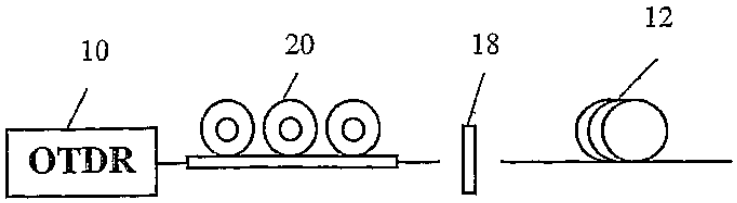
상기 펄스 방사선은 15km보다 긴 광섬유의 길이 방향으로 발생되며, 상기 발생되는 방사선의 광원으로부터 15km보다 먼 광섬유의 PMD 정보를 제공하는 것을 특징으로 하는 광섬유의 편광 모드 분산을 측정하는 방법.

도면

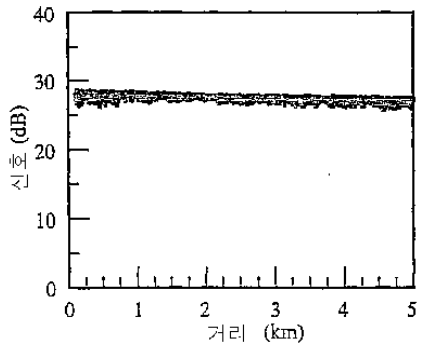
도면1



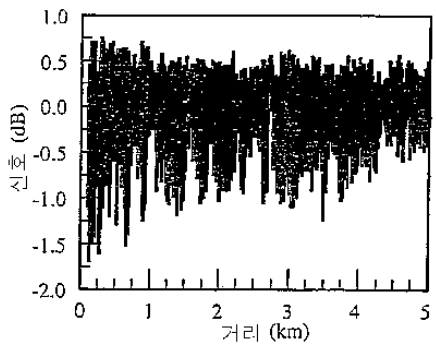
도면2



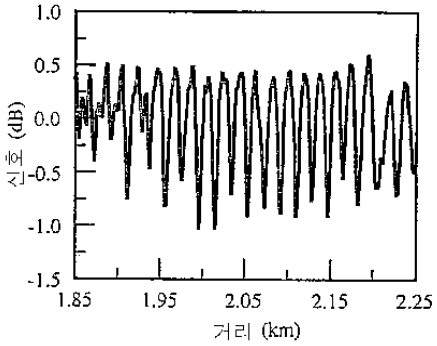
도면3



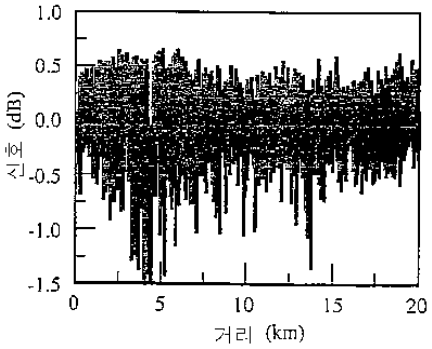
도면4



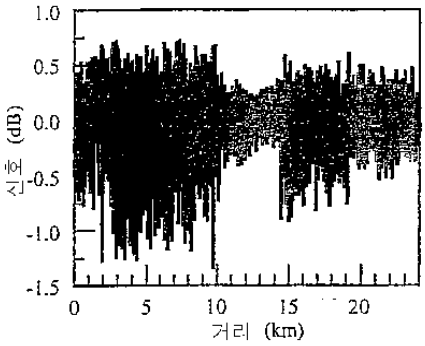
도면5



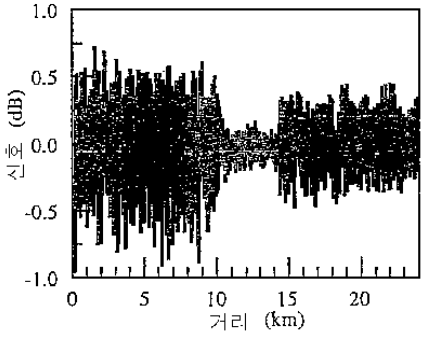
도면6



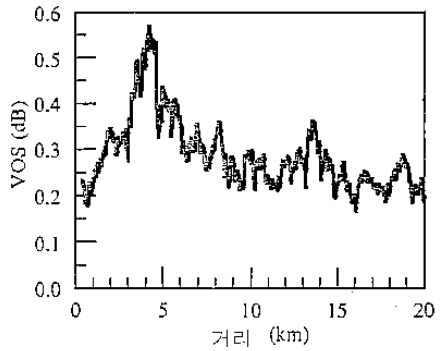
도면7



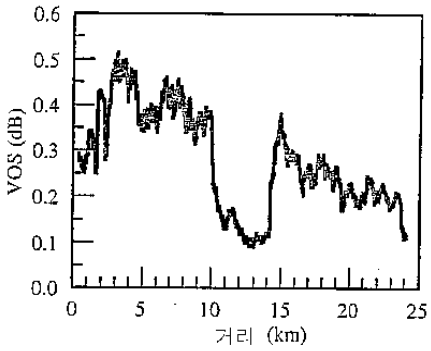
도면8



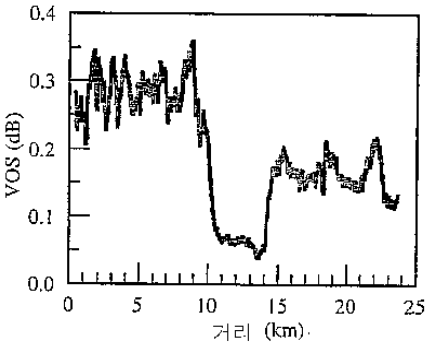
도면9



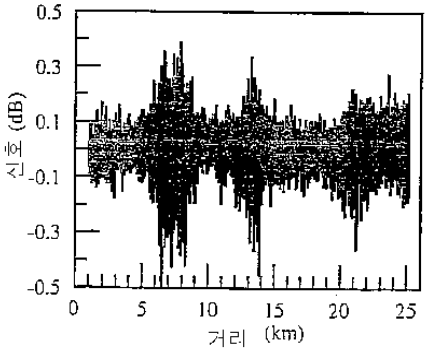
도면10



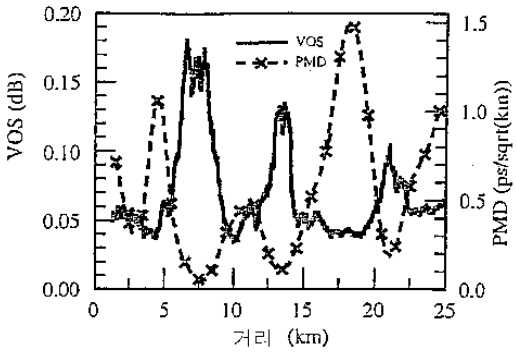
도면11



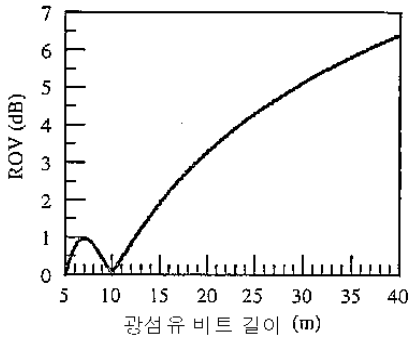
도면12



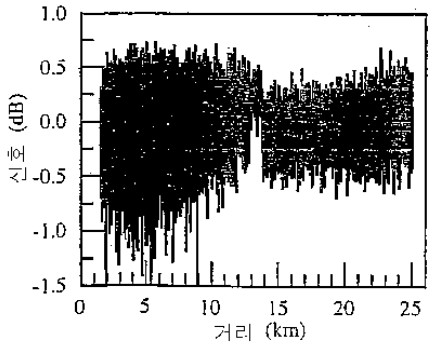
도면13



도면14



도면15



도면16

