



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2014년12월18일

(11) 등록번호 10-1474276

(24) 등록일자 2014년12월12일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

HO4B 10/07 (2013.01) G01M 11/00 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2013-7012315

(22) 출원일자(국제) 2011년09월22일

심사청구일자 2014년08월18일

(85) 번역문제출일자 2013년05월13일

(65) 공개번호 10-2013-0139998

(43) 공개일자 2013년12월23일

(86) 국제출원번호 PCT/US2011/052776

(87) 국제공개번호 WO 2012/054172

국제공개일자 2012년04월26일

(30) 우선권주장

12/909,129 2010년10월21일 미국(US)

(56) 선행기술조사문헌

EP2144096 A1

(73) 특허권자

팬듀트 코포레이션

미국 일리노이주 60487 틴리 파크 팬듀트 드라이브 18900

(72) 발명자

터틀리 가스톤 이.

미국 일리노이 60441 락포트 길버트 드라이브 17573

팜피넬라 리차드 제이.

미국 일리노이 60423 프랑크포트 코웰로 드라이브 11864

래인 브렛

미국 일리노이 60521 힌스데일 노스 그랜트 스트리트 424

(74) 대리인

송봉식, 정삼영

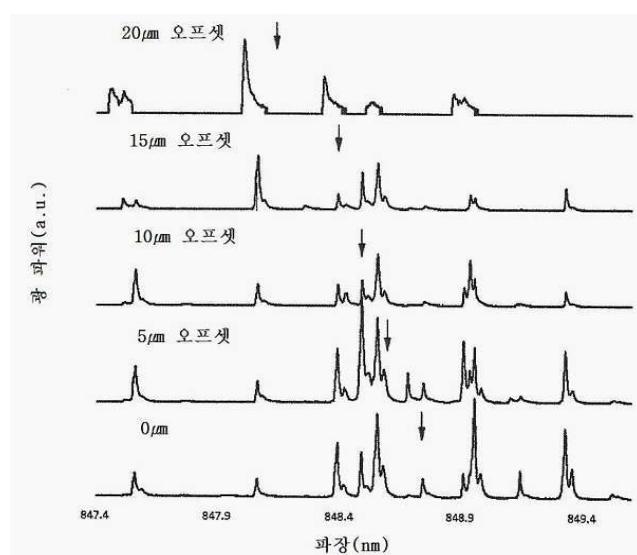
심사관 : 장진환

전체 청구항 수 : 총 13 항

(54) 발명의 명칭 송신기 광학 서브 어셈블리와 함께 사용하기 위한 광섬유를 설계 및 선택하는 방법

(57) 요약

다중 모드 섬유 송신 시스템에서의 재료 또는 색 분산 및 모달 분산 효과의 양자를 보상하는 방법이 제공된다. 상기 방법은 기준 다중 모드 섬유 광 케이블과 연결된 다중 모드 섬유 레이저 송신기의 섬유 결합 공간 스펙트럼 분포를 측정하는 단계 및 상기 기준 다중 모드 섬유 광 케이블에 존재하는 색 분산 및 모달 분산의 크기를 결정하는 단계를 포함하지만 이에 한정되는 것은 아니다. 상기 방법은 또한 상기 송신기의 섬유 결합 공간 스펙트럼 분포로부터 기인하는 기준 다중 모드 섬유 광 케이블에 존재하는 상기 색 분산 및 모달 분산의 적어도 일부분을 보상하는 개량된 다중 모드 섬유 광 케이블을 설계하는 단계를 포함하지만 이에 한정되는 것은 아니다.

대표 도 - 도1

특허청구의 범위

청구항 1

다중 모드 섬유 송신 시스템에서의 재료 또는 색 분산 효과 및 모달 분산(modal dispersion) 효과의 양자를 보상하는 방법으로서,

기준 다중 모드 섬유 광 케이블과 연결된 다중 모드 섬유 레이저 송신기의 섬유 결합 공간 스펙트럼 분포를 측정하는 단계;

상기 기준 다중 모드 섬유 광 케이블에 존재하는 색 분산 및 모달 분산의 크기를 결정하는 단계; 및

상기 송신기의 섬유 결합 공간 스펙트럼 분포로부터 기인하는 기준 다중 모드 섬유 광 케이블에 존재하는 상기 색 분산 및 모달 분산의 적어도 일부분을 보상하는 개량된 다중 모드 섬유 광 케이블을 설계하는 단계;

를 포함하는 것을 특징으로 하는 재료 또는 색 분산 효과 및 모달 분산 효과의 양자를 보상하는 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 다중 모드 섬유 광 송신기는 레이저 출력 방사 패턴을 다중 모드 섬유에 결합하기 위한 광학 서브 어셈블리를 포함하는 것을 특징으로 하는 재료 또는 색 분산 효과 및 모달 분산 효과의 양자를 보상하는 방법.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 섬유 결합 공간 스펙트럼 분포를 측정하는 단계는

다중 모드 섬유 송신기의 입력과 연결된 전력원으로 광학 신호를 생성하는 단계;

다중 모드 섬유 레이저 송신기의 출력을 기준 다중 모드 섬유 광 케이블의 입력과 결합시키는 단계;

상기 기준 다중 모드 섬유 광 케이블의 출력을 마이크로 위치 결정 스테이지(micro-positioning stage)를 사용하여 단일 모드 섬유 광 케이블의 입력과 결합시키는 단계;

상기 단일 모드 섬유 광 케이블의 출력을 광학 스펙트럼 분석기의 입력과 결합시키는 단계;

적어도 제1 및 제2 섬유 코어 반경에 대한 스펙트럼 분포를 결정하는 단계; 및

제1 및 제2 섬유 코어 반경 사이의 스펙트럼 분포의 변화를 계산하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 재료 또는 색 분산 효과 및 모달 분산 효과의 양자를 보상하는 방법.

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 개량된 다중 모드 섬유 광 케이블을 다중 모드 섬유 송신기 내에 패키징하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 재료 또는 색 분산 효과 및 모달 분산 효과의 양자를 보상하는 방법.

청구항 5

제1항에 있어서, 각 반경 방향 오프셋 광학 스펙트럼에 대한 이산(discrete) 파장 및 상기 이산 파장의 상대 진폭은 상기 모달 분산의 적어도 일부와 색 분산의 균형을 유지하도록 DMD 보상을 계산하는 데 사용되는 것을 특징으로 하는 재료 또는 색 분산 효과 및 모달 분산 효과의 양자를 보상하는 방법.

청구항 6

다중 모드 섬유 송신기 광학 서브 어셈블리에서의 색 분산 효과 및 모달 분산 효과의 양자를 보상하는 방법으로서:

기준 다중 모드 섬유 광 케이블과 연결된 다중 모드 섬유 송신기 광학 서브 어셈블리의 섬유 결합 공간 스펙트럼 분포를 측정하는 단계; 및

상기 기준 다중 모드 섬유 광 케이블에 존재하는 색 분산 및 모달 분산의 크기를 결정하는 단계를 포함하는 것

을 특징으로 하는 색 분산 효과 및 모달 분산 효과의 양자를 보상하는 방법.

청구항 7

제6항에 있어서, 상기 다중 모드 섬유 광학 서브 어셈블리의 출력은 상기 다중 모드 섬유 송신기 광학 서브 어셈블리로부터 기인한 기준 다중 모드 섬유 광 케이블에 존재하는 상기 색 분산 및 모달 분산의 적어도 일부를 보상하는 개량된 다중 모드 섬유 광 케이블을 선택하기 위해 사용되는 것을 특징으로 하는 색 분산 효과 및 모달 분산 효과의 양자를 보상하는 방법.

청구항 8

제6항에 있어서, 상기 섬유 결합 공간 스펙트럼 분포를 측정하는 단계는

상기 다중 모드 섬유 송신기 광학 서브 어셈블리의 입력과 연결된 전력원으로 광학 신호를 생성하는 단계;

상기 다중 모드 섬유 송신기 광학 서브 어셈블리의 출력을 상기 기준 다중 모드 섬유 광 케이블의 입력과 결합시키는 단계;

상기 기준 다중 모드 섬유 광 케이블의 출력을 마이크로 위치 결정 스테이지를 사용하여 단일 모드 섬유 광 케이블의 입력과 결합시키는 단계;

상기 단일 모드 섬유 광 케이블의 출력을 광학 스펙트럼 분석기의 입력과 결합시키는 단계;

적어도 제1 및 제2 섬유 코어 반경에 대한 스펙트럼을 결정하는 단계; 및

상기 제1 및 제2 섬유 코어 반경 사이의 스펙트럼 분포의 변화를 계산하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 색 분산 효과 및 모달 분산 효과의 양자를 보상하는 방법.

청구항 9

제7항에 있어서, 상기 개량된 다중 모드 섬유 광 케이블을 다중 모드 섬유 송신기 광학 서브 어셈블리 내에 패키징하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 색 분산 효과 및 모달 분산 효과의 양자를 보상하는 방법.

청구항 10

기준 다중 모드 섬유 송신기 광학 서브 어셈블리에서의 색 분산 효과 및 모달 분산 효과의 양자를 보상하는 방법으로서,

기준 다중 모드 섬유 광 케이블과 연결된 상기 기준 다중 모드 섬유 송신기 광학 서브 어셈블리의 섬유 결합 공간 스펙트럼 분포를 측정하는 단계;

상기 기준 다중 모드 섬유 광 케이블에 존재하는 색 분산 및 모달 분산의 크기를 결정하는 단계; 및

상기 기준 다중 모드 섬유 광 케이블에 존재하는 상기 색 분산 및 모달 분산의 적어도 일부분을 보상하는 개량된 다중 모드 섬유 송신기 광학 서브 어셈블리를 설계하는 단계;

를 포함하는 것을 특징으로 하는 색 분산 효과 및 모달 분산 효과의 양자를 보상하는 방법.

청구항 11

제10항에 있어서, 상기 기준 다중 모드 섬유 광 케이블을 상기 개량된 다중 모드 섬유 송신기 광학 서브 어셈블리 내에 패키징하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 색 분산 효과 및 모달 분산 효과의 양자를 보상하는 방법.

청구항 12

제10항에 있어서, 상기 섬유 결합 신호 공간 스펙트럼 분포를 측정하는 단계는

상기 기준 다중 모드 섬유 송신기 광학 서브 어셈블리의 입력과 연결된 전력원으로 광학 신호를 생성하는 단계;

상기 기준 다중 모드 섬유 송신기 광학 서브 어셈블리의 출력을 상기 기준 다중 모드 섬유 광 케이블의 입력과 결합시키는 단계;

상기 기준 다중 모드 섬유 광 케이블의 출력을 마이크로 위치 결정 스테이지를 사용하여 단일 모드 섬유 광 케

이들의 입력과 결합시키는 단계;

상기 단일 모드 섬유 광 케이블의 출력을 광학 스펙트럼 분석기의 입력과 결합시키는 단계;

적어도 제1 및 제2 섬유 코어 반경에 대한 스펙트럼 분포를 결정하는 단계; 및

상기 제1 및 제2 섬유 코어 반경 사이의 스펙트럼 분포의 변화를 계산하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 색 분산 효과 및 모달 분산 효과의 양자를 보상하는 방법.

청구항 13

제12항에 있어서, 이미징(imaging) 시스템이 MMF 송신 시스템의 색 및 모달 분산의 효과를 보상하기 위해 상기 송신기 광학 어셈블리의 출력 공간 스펙트럼 분포를 결정하는 데에 사용되는 것을 특징으로 하는 색 분산 효과 및 모달 분산 효과의 양자를 보상하는 방법.

청구항 14

삭제

청구항 15

삭제

청구항 16

삭제

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 향상된 채널 성능을 위한 모달(modal) 및 색 분산(chromatic dispersion)을 보상하기 위해 섬유 결합 과정 분포의 반경 방향의 의존성을 이용하는 레이저 최적화 다중 모드 섬유 광 케이블(MMF)을 제작하여 이용하는 데 제공되는 새로운 차동 모드 지연(DMD: Differential Mode Delay) 사양에 관한 것이다.

[0002] 본 발명은 또한, 지정된 섬유 결합 공간 스펙트럼 분포를 갖는 다중 모드 섬유 광학 서브 어셈블리에 관한 것이다. 다중 모드 섬유 광학 서브 어셈블리는 특별히 설계된 MMF와 함께 사용하기 위한 다중 모드 섬유 송신기 광학 서브 어셈블리(TOSA)를 포함한다. 섬유 결합 공간 스펙트럼 분포에 대한 지식이 다중 모드 섬유 광학 통신 시스템에 내재하는 분산 현상이 특별히 설계된 MMF에 의해 보상되게 하여, 향상된 시스템 성능을 가능하게 한다.

배경기술

[0003] 근거리 데이터 통신 네트워크에서의 대부분의 고속 광학 채널 링크는 MMF를 채용한다. 이를 채널 링크를 지원하는 송수신기는 1Gb/s 이상의 데이터 속도를 위한 수직 공동 표면 발광 레이저(VCSEL: Vertical Cavity Surface Emitting Laser) 소스를 사용한다. 200 미터를 초과하는 링크 거리를 달성하기 위해, MMF의 설계는 850 nm의 중심 파장을 갖는 VCSEL 송신을 위해 최적화되어 왔다. VCSEL 송신을 위해 최적화된 MMF는 레이저 최적화(Laser-Optimized) MMF라고 하며, TIA-492AAC 및 TIA-492AAD에서 OM3(섬유 유형 A1a.2) 및 OM4(섬유 유형 A1a.3) 섬유 유형으로 각각 지정된다.

[0004] 광의 파동성 및 광 섬유의 도파(wave guiding) 특성으로 인해, 광학 신호가 모드라고 하는 이산 광 경로(discrete optical path)를 따라 횡단한다. 웨尔斯의 광 파워는 이산 모드들의 합에 의해 반송된다. 섬유에서의 최고속 및 최저속 모드 간의 전파 지연의 차이는 인터모달(inter-modal) 분산 또는 간단히 모달 분산을 결정한다. MMF는 이상적으로는 모든 모드가 모달 분산을 최소화하기 위해 동시에 섬유의 출력에 도달하도록 최적화되어야 한다. 이것은 전통적으로, 하기의 식에 의해 정의된 포물선 분포에 따라 섬유 코어의 굴절률 프로파일을 형상화 또는 "그레이딩(grading)"함으로써 달성되어 왔다.

$$n^2(r) = \begin{cases} n_1^2 \left[1 - 2\Delta n \left(\frac{r}{a} \right)^{\alpha} \right] & r \leq a \\ n_2^2 & r > a \end{cases} \quad (1)$$

[0005]

[0006] 여기에서, a 는 코어 직경($50\mu\text{m}$)이고, n_1 은 코어 중심에서의 굴절률이며, n_2 는 피복의 굴절률이고, α 는 2에 가까운 수이며,

$$\Delta n = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2} \quad (2)$$

[0007]

[0008] 식 (1)로 기재된 전통적인 굴절률 프로파일은 모든 모드들이 대체로 동일한 파장을 갖는다고 가정하고, 최소 모달 분산을 야기하는 전통적인 "이상적" 프로파일로 여겨진다. 더 큰 각도로 진행하는 (및 결과적으로 더 긴 거리를 횡단하는) 모드는 평균하여 더 낮은 굴절률과 대면하고 더 고속으로 진행한다. 이들은 고차 모드라고 한다. 작은 각도로 진행하는 모드(저차 모드)는 평균하여 더 높은 굴절률과 대면하고 더 저속으로 진행한다.

[0009]

섬유의 굴절률 프로파일을 최적화함으로써 레이저 최적화된 MMF의 모달 분산을 최소화하는 것에 많은 관심이 집중되어 왔다. 모달 분산은 여러 개의 모드들의 전파 속도의 차이로 인한 광학 신호의 시간적인 웨곡이다. 결과적으로, MMF에 대해, 재료 분산의 효과를 감소시키는 것에 비교적 관심이 덜 집중되어 왔다. 재료 분산은 광학 신호를 포함하는 여러 가지 스펙트럼 성분의 전파 속도의 차이로 인한 광학 신호의 시간적인 웨곡이다. 더욱 일반적으로, 색 분산은 재료 분산과 도파 분산의 조합이고, 여기에서 도파 특성은 파장에 따라 변화한다.

[0010]

[0010] 그 결과, 모달 분산뿐만 아니라 재료 분산을 처리하고 보상하는 MMF를 제조하는 개량된 방법을 제공하는 것이 바람직하다.

[0011] 또한, 레이저 송신기의 반경 방향 의존성 파장 방사 패턴으로 인해, 섬유 결합 모드는 상당한 재료 분산을 야기하는 반경 방향 파장 의존성을 갖는다. 결과적으로, MMF 시스템의 총 분산은 MMF 내의 모달 분산 및 재료 분산에 의존할 뿐만 아니라 레이저 송신기(종종 VCSEL)의 방출 스펙트럼과 MMF 사이의 상호작용에도 의존하며, 그 모두는 섬유 결합 공간 스펙트럼 분포에 의해 좌우된다.

[0012]

섬유 결합 공간 스펙트럼 분포는 MMF 아래로 진행하는 광 방사를 생성하는 레이저 송신기의 방출 스펙트럼과, VCSEL의 생성된 광 방사가 MMF에 결합되는 방식에 의존한다. 도 15 및 도 16을 참조하면, 송신기 광학 서브 어셈블리(TOSA)(120)가, VCSEL(124)로부터 방출된 광을 TOSA(120)와 수신기 광학 서브 어셈블리(ROSA)(130)의 양자자를 수용하는 송수신기(112)에 부착된 섬유 커넥터 패즐(ferrule)(132)에 결합시키기 위해 사용된다. ROSA는 광 검출을 위해 사용된다. 도 15 및 도 16을 참조하면, 가장 일반적으로, TOSA는 아래의 부품들: 1) 패키징된 (packaged) VCSEL(124); 2) 렌즈(126); 3) 착탈 가능한 섬유 커넥터 패즐(132)을 수용하기 위한 정밀 리셉터(Receptacle)(128); 4) TOSA 하우징(121); 및 5) 송수신기 PCB로의 전기 접속(123)을 포함한다. 패키징된 VCSEL(124)은 가장 흔하게는 장치 신뢰도를 향상시키기 위해 기밀하게 밀봉된 패키지로 패키징된다. 렌즈(126)는 패키징된 VCSEL(124) 내로 일체화되거나 TOSA 하우징(121)에 몰딩된다(molded). TOSA를 나타내는 송수신기의 예시가 도 15에 제공되고 TOSA의 개략적인 단면도가 도 16에 제공된다.

[0013]

예시할 목적으로만, TOSA(120)의 부품들은 수용 가능한 성능을 달성하기 위해 세심하게 정렬되어야 함이 고려될 수도 있다. TOSA(120)에 대한 어셈블리 프로세스의 일례가 아래의 단계들로 요약될 수 있다. 첫 번째로, 렌즈(126)를 TOSA 하우징(121)에 고정하는 단계. 일반적으로, 이것은 압입(press-fit) 애폭시(열 또는 UV 경화) 또는 레이저 용접에 의해 행해진다. 두 번째로, 렌즈(126)를 구비한 TOSA 하우징(121)을 전자적으로 어드레스 가능한 VCSEL(124) 상에 위치 결정하는 단계. 세 번째로, 섬유 커넥터 패즐(132)을 TOSA 하우징(121)에 삽입하는 단계. 네 번째로, VCSEL(124)을 턴 온시키는 단계. 다섯 번째로, 원하는 섬유 결합 파워를 얻기 위해, 렌즈(126) 및 섬유 커넥터 패즐(132)을 구비하는 TOSA 하우징(121)에 대해 VCSEL(124)을 정렬시키는 단계. 일반적으로, 3축 정렬이 행해진다(x, y, z). TOSA(120)의 광학 정렬은 일반적으로 섬유 커넥터 패즐(132)을 TOSA(120)의 수용단에 삽입하고 최대 광학 파워를 VCSEL(124)-패키지 배치의 함수로서 최적화함으로써 달성된다. 여섯 번째로, VCSEL(124)을 TOSA 하우징(121)에 고정하는 단계. 일반적으로 이것은 애폭시(열 또는 UV 경화) 또는 레이저 용접으로 행해진다. 마지막으로, 완성된 TOSA(120)로부터 섬유 커넥터 패즐(132)을 제거하는 단계.

[0014]

다중 모드 VCSEL의 상이한 횡단 모드들은 상이한 방사 각도를 갖고; 고차 모드들은 더 큰 방사 각도를 갖는다.

고차 VCSEL 모드들이 더 짧은 파장을 갖는 것도 알려져 있다. 다중 모드 섬유에 결합될 때, 고차 섬유 모드의 스펙트럼은 저차 섬유 모드에 비해 감소된 중심 파장 λ_c 를 가질 것이다. TIA-455-127-A에 기재된 측정 절차가 방출 스펙트럼을 측정하고 그 중심 파장 λ_c 를 결정하는 데 사용될 수 있다.

[0015] 도 17을 참조하면, TOSA(120)의 부품들이 미리 선택되어 1mm 이하 내의 허용오차를 갖고 정렬될 때, 고차 VCSEL 모드는 섬유 코어의 중심으로부터 더 멀리 위치하는 고차 섬유 모드 λ_c 외부에 결합된다. 반대로, 더 긴 중심 파장을 또한 갖는 저차 VCSEL 모드는 섬유 코어 중심에 가까이 위치하는 저차 섬유 모드 λ_c 내부에 결합될 것으로 기대된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0016] 그러나, 도 18을 참조하면, TOSA(120)의 부품들이 TOSA 패키지 내의 이물질(debris) 또는 VCSEL 오프셋과 같은 오정렬 문제로 인해 정밀하지 못하고 및/또는 형편없이 정렬되거나, 렌즈(126)가 TOSA 하우징(121) 내에서 오프셋되는 경우, VCSEL 모드와 섬유 모드 사이의 기대되는 비례 관계가 실현되지 않을 수도 있다. 실제로, TOSA(120)를 포함하는 광학 시스템은 고차 VCSEL 모드가 저차 섬유 모드에 결합되도록 또는 그 역이 되도록 할 수도 있다. 정밀하지 못한 부품 및/또는 형편없는 정렬이 광학 수차를 야기할 수도 있지만, 섬유 결합 파워는 여전히 그 사양 최소를 초과할 수도 있다는 것을 인식하는 것이 필수적이다.

[0017] 환경적인 조건들을 포함하는 다수의 조건들이 그러한 상황을 야기할 수 있다. 몇몇 예들은 1) TOSA 패키지 내에서의 VCSEL의 오정렬; 2) 광학 경로 내의 이물질; 3) 렌즈 결함(예컨대, 보통의 곡률 반경, 과도한 곡률 반경); 4) TOSA를 포함하는 여러 가지 부품들의 열 팽창(또는 수축); 5) 완전한 삽입을 막는 폐를 보어(bore) 내부의 이물질; 6) 과도한 폐를 편심률; 7) 과도한 섬유 편심률; 및 8) TOSA 하우징 결함을 포함한다.

[0018] 단일 섬유 설계로 쉽게 보상될 수 있는 재료 또는 색 분산을 야기하는 소정의 섬유 결합 공간 스펙트럼 분포를 생성하는 송수신기를 가질 필요성이 존재한다. 그 결과, 제어된 섬유 결합 광학 스펙트럼 분포를 생성하는 TOSA를 제조하는 개량된 방법을 제공하는 것이 바람직하게 될 것이다.

과제의 해결 수단

[0019] 일 양태에서, 다중 모드 섬유 송신 시스템에서의 재료 또는 색 분산 및 모달 분산 효과의 양자를 보상하는 방법이 제공된다. 그 방법은 기준 다중 모드 섬유 광 케이블과 연결된 다중 모드 섬유 레이저 송신기의 섬유 결합 공간 스펙트럼 분포를 측정하는 단계 및 상기 기준 다중 모드 섬유 광 케이블에 존재하는 색 분산 및 모달 분산의 크기를 결정하는 단계를 포함하지만 이에 한정되는 것은 아니다. 그 방법은 또한, 송신기의 섬유 결합 공간 스펙트럼 분포로부터 기인하는 기준 다중 모드 섬유 광 케이블에 존재하는 색 분산 및 모달 분산의 적어도 일부분을 보상하는 개량된 다중 모드 섬유 광 케이블을 설계하는 단계를 포함하지만 이에 한정되는 것은 아니다.

[0020] 일 양태에서, 다중 모드 섬유 송신기 광학 서브 어셈블리에서의 색 분산 및 모달 분산 효과의 양자를 보상하는 방법이 제공된다. 그 방법은 기준 다중 모드 섬유 광 케이블과 연결된 다중 모드 섬유 송신기 광학 어셈블리의 섬유 결합 공간 스펙트럼 분포를 측정하는 단계 및 상기 기준 다중 모드 섬유 광 케이블에 존재하는 색 분산 및 모달 분산의 크기를 결정하는 단계를 포함하지만 이에 한정되는 것은 아니다.

[0021] 일 양태에서, 기준 다중 모드 섬유 송신기 광학 서브 어셈블리에서의 색 분산과 모달 분산 효과의 양자를 보상하는 방법이 제공된다. 그 방법은 기준 다중 모드 섬유 광 케이블과 연결된 기준 다중 모드 섬유 송신기 광학 서브 어셈블리의 섬유 결합 공간 스펙트럼 분포를 측정하는 단계 및 기준 다중 모드 섬유 광 케이블에 존재하는 색 분산 및 모달 분산의 크기를 결정하는 단계를 포함하지만 이에 한정되는 것은 아니다. 그 방법은 또한, 기준 다중 모드 섬유 광 케이블에 존재하는 상기 색 분산 및 모달 분산의 적어도 일부분을 보상하는 개량된 다중 모드 섬유 송신기 광학 서브 어셈블리를 설계하는 단계를 포함하지만 이에 한정되는 것은 아니다.

[0022] 일 양태에서, 다중 모드 섬유 광 케이블에서의 색 분산 및 모달 분산의 양자를 보상하는 방법이 제공된다. 그 방법은 광학 신호를 기준 다중 모드 섬유 광 케이블 내에 생성하는 단계 및 기준 다중 모드 섬유 광 케이블 내의 광학 신호의 복수의 안내 모드에 대해 파장 의존 플라이트 시간(time of flight)을 측정하는 단계를 포함하지만 이에 한정되는 것은 아니다. 그 방법은 또한, 기준 다중 모드 섬유 케이블에 존재하는 색 분산 및 모달 분산의 크기를 결정하는 단계 및 기준 다중 모드 섬유 광 케이블에 존재하는 색 분산 및 모달 분산의 적어도 일

부분을 보상하는 개량된 다중 모드 섬유 광 케이블을 설계하는 단계를 포함하지만 이에 한정되는 것은 아니다.

[0023] 본 발명의 범위는 첨부된 청구항들에 의해서만 한정되며 이 요약 내의 기재내용에 의해 영향을 받지 않는다.

도면의 간단한 설명

[0024] 본 발명은 이하의 도면 및 상세한 설명을 참조하면 더욱 잘 이해될 수 있다. 도면 내의 각 요소들은 반드시 일정 척도로 표기된 것은 아니며, 대신에 본 발명의 원리를 예시할 때 강조해서 표시되어 있다.

도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 모드 섬유 코어 중심으로부터 5개의 반경 방향 오프셋(radial offset)에 대하여 MMF에서 전파하는 모드의 광학 스펙트럼의 그래프를 도시한 도면;

도 2는 4개의 반경 방향 오프셋에 대해 샘플링 발진기에 의해 기록된 결과적인 출력 펄스의 전파 지연의 그래프를 도시한 도면;

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 대표적인 OM4 섬유 샘플 A에 대한 DMD 파형 플롯(waveform plot)의 그래프를 도시한 도면;

도 4a는 본 발명의 일 실시예에 따른, 모든 파형이 동일한 지연을 갖고 그에 따라 정렬되는, 현재의 이상적인 DMD 파형 플롯의 그래프를 도시한 도면;

도 4b는 본 발명의 일 실시예에 따른 새로운 알고리즘을 사용하는 스펙트럼 데이터로 이상적인 DMD 파형을 컨볼루팅(convoluting)함으로써 얻어지는 테스트 VCSEL 플롯에 대한 결과적인 DMD 파형의 그래프를 도시한 도면;

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른, 가장 우측 차트 상에 도시된 바와 같이, 결합된 섬유 모드의 반경 방향의 파장 의존성을 오프셋의 함수로서 야기하는 파장 의존성을 갖는 VCSEL 방사 패턴의 그래프를 도시한 도면;

도 6은 550m 길이의 MMF를 통해 전파하는 2개의 반경 방향 오프셋(5 및 19 μ m 오프셋)에 대한 파장 의존 플라이트 시간의 그래프를 도시한 도면;

도 7은 플라이트 시간 측정으로부터 도출된 상대 지연의 그래프를 도시한 도면;

도 8a는 섬유의 코어 전역에서 0으로부터 24 μ m까지 지연의 단조 감소를 갖는 DMD 파형 플롯의 그래프를 도시한 도면;

도 8b는 $\Delta \lambda_c = 0.53\text{nm}$ 의 중심 파장에서의 반경 방향의 시프트(shift)를 갖고 컨볼루팅될 때의 결과적인 DMD 파형 플롯의 그래프를 도시한 도면;

도 9a 및 도 9b는 본 발명의 일 실시예에 따른, 실질적으로 일치하는 DMD 및 EMB 메트릭(metrics)을 갖는 동일한 케이블에서의 2개의 MMF에 대한 DMD 파형 플롯의 그래프를 도시한 도면이고; 도 9a에 플로팅된 좌측 시프트를 갖는 섬유는 도 9b에 플로팅된 우측 시프트를 갖는 섬유보다 더 나은 BER 시스템 성능을 나타내는 도면;

도 10a 및 도 10b는 각각, 도 9a 및 도 9b에서 특징으로 하는 동일한 2개의 섬유에 대해 계산된 DMD 파형 플롯의 그래프를 도시한 도면;

도 11a는 본 발명의 일 실시예에 따른, 표준 테스트 방법을 사용하여 측정된 minEMBc의 그래프를 도시한 도면;

도 11b는 본 발명의 일 실시예에 따른, 새롭게 계산되고 컨볼루팅된 minEMBc의 그래프를 도시한 도면;

도 11c는 본 발명의 일 실시예에 따른, 표준 테스트 방법을 사용하여 측정된 DMD, 내부 마스크 사양의 그래프를 도시한 도면;

도 11d는 본 발명의 일 실시예에 따른, 새롭게 계산되고 컨볼루팅된 DMD, 내부 마스크 사양의 그래프를 도시한 도면;

도 12는 본 발명의 일 실시예에 따른, 차이 $\Delta \lambda_c$ 를 갖는 3개의 송수신기에 대해 계산된 minEMBc의 그래프를 도시한 도면;

도 13은 본 발명의 일 실시예에 따른, minEMBc에 대해 계산된 섬유 대역폭을 최대화하는 데 필요한 DMD 보상의 그래프를 도시한 도면;

도 14는 본 발명의 일 실시예에 따른, 5개의 상이한 송수신기를 사용한 섬유 샘플 A 3dB 대역폭 측정치의 그래

프를 도시한 도면:

도 15는 본 발명의 일 실시예에 따른, 송신기 광학 서브 어셈블리(TOSA)를 나타내는 송수신기의 사시도를 도시한 도면;

도 16은 본 발명의 일 실시예에 따른, TOSA의 개략적인 단면도를 도시한 도면;

도 17은 본 발명의 일 실시예에 따른, 정밀하고 잘 정렬된 부품들을 갖는 TOSA의 개략적인 단면도를 도시한 도면;

도 18은 본 발명의 일 실시예에 따른, 정밀하지 않고 잘 정렬되지 않은 부품들을 갖는 TOSA의 개략적인 단면도를 도시한 도면;

도 19는 본 발명의 일 실시예에 따른, 다중 모드 섬유 송수신기에 대한 섬유 결합 공간 스펙트럼 분포를 측정하는 데 사용되는 실험 장비를 도시한 도면;

도 20은 본 발명의 일 실시예에 따른, 특정한 송수신기에 대해 2개의 상이한 코어 반경: $r=0\mu\text{m}$ 및 $r=24\mu\text{m}$ 에서 측정된 섬유 결합 스펙트럼을 나타내는 그래프를 도시한 도면;

도 21은 본 발명의 일 실시예에 따른, 제1 및 제2 송수신기에 대한 코어 전역에서 계산된 중심 파장의 변화를 나타내는 그래프를 도시한 도면;

도 22는 본 발명의 일 실시예에 따른, 38개의 단파장, 고 비트 레이트, 다중 모드 섬유 송수신기에 대한 기준 다중 모드 섬유의 코어 전역에서의 섬유 결합 중심 파장의 최대 차이의 막대 그래프를 도시한 도면;

도 23은 본 발명의 일 실시예에 따른, 1) 섬유 결합 공간 스펙트럼 분포를 특별히 제어하지 않는 TOSA 및 이 넓은 분포를 전체적으로 보상하도록 설계된 섬유를 포함하는 링크; 및 2) 특별히 제어된 섬유 결합 공간 스펙트럼 분포를 갖는 TOSA 및 모달 분산과 함께 재료 분산을 정밀하게 보상하도록 설계된 섬유를 포함하는 링크에 대해 최소 광학 링크 거리의 계산된 확률 분포를 나타낸 그래프를 도시한 도면.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0025] 본 발명은, VCSEL의 반경 방향 의존성 파장 방사 패턴과 광이 섬유에 결합되는 방식으로 인해, 섬유 결합 모드가 섬유 반경에 의존하는 스펙트럼 성분을 갖고 무시할 수 없는 색 또는 재료 분산 효과를 야기하는 것의 발견을 이용한다. 도 1은 섬유 코어 전역에서 5개의 반경 방향 오프셋에 대해 MMF 내에서 전파하는 모드의 광학 스펙트럼을 도시한다. 각 반경 방향 스펙트럼에 대한 중심 파장 또는 중앙 파장은 아래 방향 화살표로 표시된다. 도 1에 도시되는 바와 같이, 이런 특정 광학 송신기에서, 평균하여 섬유 모드의 중심 파장은 더 큰 반경 방향 오프셋에 대해 더 짧은 파장으로 시프트한다. 이 반경 방향 파장 의존성으로 인해 섬유 모드에는 모달 분산에 덧붙여 서로에 대해 색 또는 재료 분산이 생긴다. 결과적으로, 이 재료 분산 효과를 보상하기 위해 굴절률 프로파일이 변경되어야 하며, 그에 의해 섬유 및 송신기 조합에 의해 실현되는 총 분산을 최소화시킨다.

[0026] 본 발명은 또한, 제조 공정 동안 재료 분산뿐만 아니라 모달 분산의 효과를 고려하기 위해 더욱 정밀한 TOSA 부품 및 TOSA 부품의 더욱 정밀한 정렬을 필요로 함으로써, 고차 VCSEL 모드가 도 17에 도시된 바와 같은 고차 섬유 모드로 결합될 수 있는 것의 발견을 이용한다.

[0027] 일 양태에서, 본 발명은 섬유 모드의 파장에서의 반경 방향 의존 시프트에 의해 기인하는 모달 및 재료 분산 효과를 보상하는 레이저 최적화 다중 모드 섬유에 대한 새로운 DMD 사양을 기술한다. 필요한 보상은 VCSEL의 공간 스펙트럼 특징, VCSEL 모드의 섬유 모드로의 결합, 및 섬유의 모달 분산 특성에 의존한다. 파장에서의 반경 방향 시프트를 보상하도록 설계된 MMF는 감소된 총 분산 및 향상된 시스템 성능을 나타낼 것이다. 기존의 DMD 및 유효 모달 대역폭(EMB: Effective Modal Bandwidth) 테스트 방법은 섬유 모드의 반경 방향 파장 의존성을 무시하기 때문에, 그들 방법은 송신 시스템에서 실현되는 모달 분산 또는 대역폭 성능을 정확하게 특징짓지 못한다. 새로운 DMD 사양을 검증하기 위해, 본 발명자들은 재료 분산 보상의 크기를 변경하기 위해 VCSEL의 샘플 세트에 대한 DMD 및 EMB를 계산하는 데, 미국 특허 출원 제61/237,827호에 개시된 바와 같이, DMD 및 대역폭을 계산하기 위한 개량 알고리즘을 적용하였다.

[0028] 레이저 최적화 MMF의 대역폭을 특징짓는 데 사용된 테스트 방법은 TIA-455-220-A 표준으로 정해진 DMD이다. DMD는 색 분산의 효과가 최소화되는 동안, ps/m 의 단위로 표현되는 MMF를 가로지르는 최고속 및 최저속 모드 간의 전파 지연의 차이의 측정이다. 모드들 간의 상대 지연이 클수록, 분산(즉, 모달 분산)도 더 커진다. DMD를 측정하기 위해, 단일 모드 론치(launch) 섬유의 단부로부터 방출되는 광학 기준 펄스가 테스트 하에 MMF의 코어

를 횡단하여 스텝핑(stepped)된다. 각 반경 방향 오프셋에 대해, 결과적인 출력 펄스의 전파 지연이 도 2에 도시된 바와 같이, 샘플링 발진기에 의해 기록된다.

[0029] 출력 파형은 주어진 반경 방향 오프셋에 대한 론치 펄스에 의해 여기되는 모드들만 포함한다. 이 측정에서, 론치 펄스의 스펙트럼 특성은 일정함을 유지한다. DMD를 계산하기 위해, 각 반경 방향 오프셋(0 내지 24 μm)에 대한 출력 파형의 세트가 먼저 기록된다. 파형의 플롯은 도 3에 도시되어 있다. 플롯은 코어 중앙으로부터 측정될 때 론치 펄스(y축)의 반경 방향 오프셋의 함수로서 섬유의 출력 단(x축)에서의 미터 당 피코초의 상대 펄스 지연 또는 "상대 시간"을 나타낸다. DMD는 최고속 펄스의 선두 에지(leading edge)와 최저속 펄스의 후미 에지(trailing edge) 사이의 펄스 지연의 차이를 측정함으로써 결정된다. 이 차이로부터 본 발명자들은 론치 펄스(launch pulse)의 시간 폭을 빼서, 섬유의 모달 분산을 산출한다. 섬유를 OM3 또는 OM4로 지정하기 위해, DMD는 코어의 여러 개의 반경 영역 내의 최소 분산 값을 충족해야 한다.

[0030] 현재, 모달 분산을 최소화하는 DMD 파형 플롯이 도 4a에 도시된 것과 같이 섬유의 출력에 모든 반경 방향 오프셋 파형이 동시에 도달할 때라고 통상적으로 믿고 있다. 이것은 각각의 반경 방향 섬유 모드(출력 파형)가 동일한 스펙트럼 특성을 갖는 론치 펄스에 의해 여기되는 경우 참(true)이다. 그러나, 더 큰 론치 각도로 방출되는 고차 VCSEL 모드는 평균적으로, 더 작은 론치 각도로 방출되는 고차 VCSEL 모드보다 더 짧은 파장을 가지므로(도 5 참조), 그러한 가정은 유효하지 않다. VCSEL 모드가 섬유로 결합될 때, 저차 모드 및 고차 모드는 모달 분산에 덧붙여 상이한 크기의 재료 분산이 생기게 된다. 재료 분산은 재료의 굴절률이 하기의 파장을 갖고 변화하기 때문에 발생한다.

$$\frac{dn}{d\lambda} \neq 0 \quad (3)$$

[0031]

[0032] 미국 특허 출원 제61/237,827호에 개시되어 있는 알고리즘을 사용하여, 본 발명자들은 이상적인 DMD 파형을 갖는 시뮬레이트된 섬유에 대한 비트 에러율(BER: Bit Error Rate) 테스트 시스템에 사용된 송신기에 대한 DMD를 계산하였다. 이 VCSEL에 대한 섬유의 코어 전역에서 중심 파장의 차이는 0.72nm이다. 새로운 알고리즘을 적용하여, 본 발명자들은 더 큰 반경 방향 오프셋에서 계산된 DMD 파형(도 4b)이 재료 분산으로 인해 우측으로 시프트되는 것(즉, 더 긴 지연)을 안다. 그래서, 모든 파형이 시간적으로 정렬되어 있는 DMD를 산출하는 전통적인 "이상적인" 타원형 굴절률 프로파일은 이 VCSEL에 대해 적합하지 않다. 총 분산을 최소화하기 위해(또는 시스템 대역폭을 최대화하기 위해), MMF의 코어 굴절률 프로파일은 섬유 모드의 상대 재료 분산(또는 색 분산)을 보상하기 위해 변형되어야 한다. 레이저의 스펙트럼 특성을 고려해 볼 때, 필요한 보상은 미국 특허 출원 제61/237,827호에 개시되어 있는 알고리즘을 사용하여 계산될 수 있다. 미국 특허 출원 제61/237,827호에 개시되어 있는 알고리즘은 MMF 채널 링크의 시스템 성능의 더욱 정밀한 묘사를 제공한다.

[0033] 일반적으로, 고속 데이터 통신 네트워크에 사용되는 VCSEL 송수신기는, 섬유에 결합될 때 지원되는 안내 모드에서 파장 의존성을 초래하는 공간 의존성 파장 방사 패턴을 나타낸다. 섬유 결합 스펙트럼의 반경 방향 의존성을 수량화하기 위한 다른 파라미터가 사용될 수도 있지만, 본 발명자들은 MMF의 코어 전면에서 반경 방향 스펙트럼 사이의 중심 파장의 최대 차이가 되도록 새로운 파라미터 $\Delta \lambda_c$ 를 정의한다. 10Gbps 이더넷(10GBASE-SR) 및 8Gb/s 파이버 채널용 광학 송수신기의 대표적인 세트에 대한 $\Delta \lambda_c$ 의 통계 분포에 의거하여, 새로운 DMD 사양이 레이저 최적화 MMF의 설계 및 제조를 위해 제안된다. 새로운 DMD 사양은 광학 채널의 파장에서의 반경 방향 의존성 시프트를 보상한다. 일례로서, 도 5에, 본 발명자들은 샘플 10Gb/s 송수신기에 대한 $\Delta \lambda_c$ 를 나타내며, 여기에서 $\Delta \lambda_c=0.53\text{nm}$ 이다. 본 발명자들은 결합된 광 파워가 섬유 코어의 작은 영역으로 제한되면, 보상은 감소된 반경 방향 영역에 대해 $\Delta \lambda_c$ 에 의거하여 조절되어야 함을 주목한다.

[0034] 굴절률 프로파일을 변경함으로써, 본 발명자들은 파장의 분포에 의거한 재료 분산의 효과를 보상하도록 안내 모드의 속도를 조절할 수 있다. 그 결과, 감소된 총 분산을 갖는 향상된 MMF가 실현될 수 있다. 굴절률 프로파일에 대한 변형은 섬유의 모달 전파 지연을 특징짓는 DMD 파형 데이터를 사용하여 수량화될 수 있다.

[0035] 본 발명자들은 안내 모드의 파장 의존 플라이트 시간(time of flight)을 측정함으로써 MMF의 재료 분산을 수량화할 수 있다. 여기에 사용되는 것으로서의 하나의 방법은 DMD 측정 테스트 베드에 사용되는 티타늄 사파이어 레이저의 파장을 조정하는 것이다. 명확하게는, 조정 가능 및 고정 파장 레이저를 포함하는 다른 레이저 디바이스가 사용될 수 있다. 섬유 코어 전면에서 굴절률의 최대 차이가 작기 때문에(<1%), 일반적으로, 하나의 반

경 방향 오프셋에 대응하는 섬유 결합 모드에 대한 파장 의존 플라이트 시간을 특징짓는 것만 필요하다.

[0036] 도 6을 참조하면, 플라이트 시간이 550m 길이의 MMF를 통해 전파하는 2개의 반경 방향 론치 오프셋 5 및 19μm에 대해 플로팅된다. 도 6에서의 2개의 곡선 각각이 섬유의 재료 분산 $n(\lambda)$ 를 수량화한다. 더 긴 파장은 더 짧은 지연 시간을 갖고 그에 따라 더 고속으로 진행한다. 곡선에서의 수직 시프트는 2개의 반경 방향 모드 간의 모달 전파 지연의 차이 또는 모달 분산으로 인한 것이며, 재료 분산과는 관련이 없다. 데이터는 2개의 곡선의 기울기가 거의 동일한 것을 나타낸다. 도 6에 도시된 플라이트 데이터의 절대 시간을 미터당 피코초(ps/m)의 상대 지연으로 변환함으로써, 본 발명자들은 재료 및 모달 분산의 효과를 관련시킬 수 있으며, 여기에서, 모달 분산으로 인한 지연은 DMD 파형 데이터로부터 도출된다.

[0037] 도 7을 참조하면, 5μm 오프셋에 대한 재료 분산으로 인한 지연이 플로팅된다. 19μm에 대한 데이터 포인트들은 거의 동일하기 때문에 도 7에 나타나지 않는다.

[0038] 도 6 및 도 7에서의 플라이트 시간의 데이터는 현재의 DMD 및 EMB 메트릭에 의해 예측되는 것보다 크게 더 높은 시스템 성능을 나타내는 테스트 섬유에 대한 것이다. 도 3을 참조하면, 섬유의 DMD 데이터의 분석은 19μm 오프셋에서의 고차 모드가 모달 분산인 약 0.066ps/m 만큼 오프셋되는 5μm에서의 저차 모드보다 더 고속으로 섬유를 통과한다는 것을 나타낸다. VCSEL 송신기에 의해 여기될 때, 이를 2개의 반경 방향 오프셋(5 및 19μm 오프셋)에 대한 모드는 중심 파장에서 상이하다. 사용된 VCSEL에 의해 여기될 때 섬유 모드의 스펙트럼 분석은, 19μm 오프셋에서의 모드가 약 848.1nm의 중심 파장을 갖지만, 5μm 오프셋에서의 모드가 848.8nm의 중심 파장을 갖는 것을 나타낸다. 도 7에 도시된 플라이트 시간(TOF) 곡선으로부터, 본 발명자들은 이 중심 파장의 차이가 0.070ps/m의 상대 시간 지연의 차이에 대응하는 것을 안다. 그러나, 19μm에서 고차 모드의 광학 스펙트럼이 더 짧은 중심 파장을 가지므로, 평균하여 모드는 더 저속으로 진행한다. 따라서, 음의 재료 분산(-0.070ps/m)이 총 시스템 분산을 0.004ps/m까지 감소시키는 양의 모달 분산(+0.066ps/m)을 보상할 것이다. 그래서, 섬유는 분산을 거의 도입하지 않고 종래의 DMD 및 EMB 측정 방법에 의해 예측되는 것보다 더 잘 수행한다. 이러한 DMD 파형 반경 방향 지연의 비대칭성은 현재의 표준 테스트 방법에서 고려되지 않는다.

[0039] 주어진 레이저원 또는 TOSA 및 결합된 섬유 모드의 중심 파장의 반경 방향 변화에 대해, 본 발명자들은 재료 분산으로 인해 섬유 모드에 생기게 될 상대 지연을 계산할 수 있다. 섬유의 굴절률은 그 후, 재료 분산을 보상하기 위해 평균하여 모드가 더 고속 또는 더 저속으로 진행하도록 변경될 수 있다. 더 짧은 파장을 더 큰 각도로 방출하는 방사 패턴에 있어서(예컨대, VCSEL), 섬유에 결합될 때, 고차 섬유 모드가 저차 모드보다 비교적 더 저속으로 진행할 것이다. 이 경우에, 굴절률은 고차 모드가 더 고속으로 진행하도록 더 큰 반경 방향 오프셋에서 감소되어야 한다. 그 목적은, 결과적인 총 분산이 최소화되도록 모드가 받게 될 파장 의존 재료 분산을 갖는 안내 섬유 모드의 상대 지연의 균형을 유지하는 것이다. 재료 분산을 보상하는 데 필요한 상대 지연이 알려지면, 굴절률 프로파일에 대해 필요한 조절이 이루어질 수 있다. 굴절률의 필요한 변화는 모드 위상 속도에 대한 그것의 관계에 의해 계산될 수 있고,

$$n(\lambda) = \frac{c}{v(\lambda)} \quad (4)$$

[0040] 여기에서, c 는 광의 속도(299,792,458m/s)이고, v 는 모드 위상 속도(m/s)이다.

[0041] 각 송수신기는 고유의 공간 스펙트럼 분포를 나타내므로, 반경 방향 스펙트럼 중심 파장의 차이($\Delta \lambda_c$)는 재료 또는 색 분산의 효과를 최소화하는 공정 송수신기에 대해 추정되어야 한다. VCSEL의 파장 의존 공간 방사 패턴의 MMF로의 결합의 정확한 이해가 향상된 설계 파라미터를 유도할 것이다. 상이한 클래스의 VCSEL 송수신기(예컨대, 파이버 채널용으로 사용되는 것과 이더넷용으로 사용되는 것)가 상이한 반경 방향 의존성 파장 방사 패턴을 나타내면, 최적의 섬유 설계 파라미터가 각 애플리케이션을 위해 결정될 수 있다. 애플리케이션 특정 성능 ("맞춤(tailored)" MMF)을 위해 섬유를 분류하는 것이 실용적일 수도 있다.

[0042] [0043] 일례로서, 재료 분산의 효과는 0.53nm의 $\Delta \lambda_c$ 를 갖는 랜덤하게 선택된 VCSEL에 대해 보상되어 왔다. 이 VCSEL에 대해, 굴절률 프로파일은, DMD 파형 피크가 더 큰 반경에서 더 짧은 지연을 갖는 상태로, 0에서 24μm까지 약 -0.04ps/m의 지연에서의 총 상대 시프트를 나타내도록 조절되어야 한다. 보상은 모드가 여기되는 코어의 반경 방향 영역과 $\Delta \lambda_c$ 의 양자에 의존한다. 변형된 굴절률 프로파일의 일 실시예는 도 8a에 도시된 바와 같이, 섬유의 코어 전역에서의 지연의 단조 시프트에 대해 설계하는 것이다. 도 8a에 도시된 시프트는 0에서 24μm까지

0.09ps/m 지연("좌측 경사" 시프트)을 야기한다. 그러나, 레이저원 파장 방사 패턴 및 섬유 결합 특성에 따라, 다른 반경 방향 시프트가 더 적절하게 될 수도 있다. 계산된 DMD 과형(미국 특허 출원 제61/237,827호에 개시되어 있는 시간 도메인 알고리즘을 사용함)이 도 8b에 도시된다. 계산된 과형의 정밀 검사는 상대 지연이 가까이 정렬되며, 이것이 낮은 총 분산을 야기한다는 것을 나타낸다.

[0044] 새로운 DMD 사양을 검증하기 위해, 새로운 알고리즘이 2개의 샘플 섬유에 적용되었고, 그 샘플 섬유의 DMD 과형이 도 9a 및 도 9b에 도시되어 있다. 현재의 테스트 방법에 의거하여, 이들 2개의 섬유에 대해 측정된 DMD 및 EMB는 거의 동일하지만(대략 4543MHz*km의 EMB 이용), 그들 섬유의 측정된 비트 에러율(BER) 시스템 성능은 2승 이상의 크기만큼 차이가 있으며, 여기에서 섬유 (a)는 더 높은 시스템 성능을 나타낸다. 본 발명자들은 이들 2개의 섬유에 대한 DMD가 동일하더라도, 그들의 반경 방향 과형의 피크는 더 큰 반경에서 반대 방향으로(지연) 시프트한다("좌측" 대 "우측" 시프트 섬유)는 것에 유의한다.

[0045] 알고리즘을 사용하여, 본 발명자들의 BER 테스트 시스템 VCSEL의 스펙트럼 특성에 대한 이들 2개의 섬유에 대해 계산된 DMD 과형이 도 10a 및 도 10b에 제시된다. 본 발명자들은 도 10a의 DMD 과형이 도 9a의 DMD 과형보다 더욱 정렬되어 있음을 안다. 한편, 도 10b의 DMD 과형은 도 9b의 DMD 과형보다 우측으로(더 큰 반경에서) 더욱 시프트된다. 이들 2개의 섬유에 대해 최소 계산된 대역폭(minEMB)은 대역폭의 20% 차이를 예측하여 3524MHz*km 및 2913MHz*km이다. 섬유(EMB)의 지정된 대역폭은 1.13의 계수만큼 계산된 최소 EMB(minEMB)에 관련된다, 즉, $EMB=1.13 \times minEMB$ 이다. 이 계산된 대역폭의 차이는 또한 새롭게 계산된 DMD에서도 관측된다. 그래서, 미국 특허 출원 제61/237,827호에 개시되어 있는 알고리즘은 이들 2개의 섬유 간의 시스템 성능의 관측된 차이를 정확히 예측한다.

[0046] 케이블 내의 모든 섬유에 상기 알고리즘을 적용하여, 본 발명자들은 도 11a, 도 11b, 도 11c 및 도 11d에 도시된 바와 같이, 표준 및 예측된 minEMB 및 DMD(내부 마스크 사양) 메트릭을 BER 시스템 성능과 비교할 수 있다. 도 11b 및 도 11d의 예측된 메트릭은 측정된 시스템 성능($R^2 = 0.58$ 대 $R^2 = 0.93$) 및 DMD($R^2 = 0.76$ 대 $R^2 = 0.96$)에 대한 매우 향상된 상관관계를 나타낸다.

[0047] 도 11a는 본 발명의 일 실시예에 따라, 표준 테스트 방법을 사용하여 측정된 minEMB의 그래프를 도시한다. 도 11b는 본 발명의 일 실시예에 따라, 새롭게 계산된 및 컨볼루팅된 minEMB의 그래프를 도시한다. 도 11c는 본 발명의 일 실시예에 따라, 표준 테스트 방법을 사용하여 측정된 DMD, 내부 마스크 사양의 그래프를 도시한다. 도 11d는 본 발명의 일 실시예에 따라, 새롭게 계산된 및 컨볼루팅된 DMD, 내부 마스크 사양의 그래프를 도시한다.

[0048] 미국 특허 출원 제61/237,827호에 개시되어 있는 새로운 알고리즘은 결합 섬유 모드에서의 평균 VCSEL 및 반경 방향 파장 분포를 보상하는 데 필요한 DMD의 시프트를 특정지음으로써 MMF 섬유의 설계 사양에까지 확장될 수 있다. 보상은 섬유의 코어의 전역에서 DMD 과형 피크에서의 단조 시프트, 0 내지 24 μ m 오프셋으로 정해진다. $\Delta \lambda_c$ 의 효과를 보상하는 데 필요한 시프트를 결정하기 위해, (0에서 24 μ m까지 0.09ps/m 시프트에 대해 도 8a에 도시된 바와 같이) 상이한 크기의 선형 DMD 시프트를 갖는 시뮬레이트된 섬유의 세트에 대해 minEMB가 계산된다. 도 12를 참조하면, (도 8에서 샘플링된 범위를 커버하기 위해 선택된 3개의 대표적인 송수신기에 대해) 계산된 minEMB가 DMD 보상의 정도를 변경하기 위해 플로팅되어 있다. "컨볼루팅되지 않음"의 라벨이 붙은 곡선은 본 발명자들이 보상(DMD 과형에서의 시프트)의 크기를 증가시킬 때 minEMB의 감소를 나타낸다. 표준 알고리즘은 모든 과형이 정렬될 때("컨볼루팅되지 않음" 곡선에 대한 제로 DMD 보상) minEMB의 더 높은 값을 예측한다.

[0049] 도 13을 참조하면, 도 12의 각각의 곡선에 대해 새롭게 계산된 최대 minEMB를 감산함으로써, 주어진 송수신기에 대한 최적의 DMD 보상($\Delta \lambda_c$)이 결정될 수 있다.

[0050] 본 발명자의 10GBASE-SR 호환 송수신기의 샘플 세트(18개의 디바이스)의 분석에 의거하여, 본 발명자들은 0.4nm의 평균 $\Delta \lambda_c$ 를 보상할 것이다. 도 13을 사용하여, 0에서 24 μ m까지 필요한 보상은 10Gbps 이더넷에 대해 ~0.04ps/m이다.

[0051] 상기 논의된 샘플 섬유에 대한 DMD 보상은 이러한 (0에서 24 μ m까지) -0.04ps/m의 예측된 최적의 보상 값에 가깝다. 이 섬유에 대한 3dB 대역폭은 5개의 상이한 VCSEL 송수신기를 사용하여 측정하였다. 각각의 VCSEL의 광학 스펙트럼은 섬유의 코어의 전역에서 측정하였다. 5개의 상이한 VCSEL 송수신기를 사용하여 샘플 섬유에 대해 측정된 대역폭과 $\Delta \lambda_c$ 사이의 상관 관계가 도 14에 플로팅된다. 데이터는 이 섬유에 대한 최대 계산된 대역폭

이 0.4nm 의 $\Delta \lambda_c$ 에 대해 얻어진 것을 증명한다.

[0052] 여기에 개시된 새로운 DMD 사양은 현재의 "이상적인" DMD 설계 메트릭을 대체할 것이다. 실제로, 일반적인 DMD 파형 플롯이 제조 프로세스에서 변형의 결과로 분할하는 모드 및 다수의 반경 방향 지연 시프트를 나타내는 것이 인지된다. 이것은 본문에서 제안된 바와 같은 새로운 목표 굴절률 프로파일에 대한 기본 설계 요건을 손상 시키지 않는다. 본 발명자들이 공정 송수신기를 설계한 것으로 가정하면, 향상된 MMF 시스템 성능을 위한 기본 요건은 굴절률 프로파일이 바이어스되어 결과적인 DMD 파형 플롯이 더 큰 반경 방향 오프셋에서 더 낮은 전파 지연으로 상대 시프트("좌측" 시프트)를 나타내는 것이다. 하나의 허용 가능한 메트릭은 $19\mu\text{m}$ 와 $5\mu\text{m}$ 반경 방향 오프셋 간의 지연 차이가 음수인 것을 보증하는 것이다. 명확하게는, 다른 반경 방향 오프셋이 사용될 수 있지만; 본 발명자들은 이를 값이 측정된 시스템 성능에 최상의 상관 관계를 제공하는 것을 발견했다.

[0053] 향상된 채널 링크 성능을 위해, 레이저 최적화 MMF의 굴절률 프로파일이 VCSEL 송수신기에 의해 여기될 때 섬유 모드의 중심 파장의 반경 방향 의존 변형을 보상하도록 변형되는 것이 제안된다. 10GBASE-SR 호환 VCSEL 송수신기에 대해, 굴절률 프로파일이 변형되어 DMD 파형 피크가 증가하는 반경 방향 오프셋에 대해 단조 시프트 대 더 짧은 지연을 나타내도록 한다. DMD 파형 피크의 제시된 시프트는 0 내지 $24\mu\text{m}$ 범위 상에서 $-0.04\text{ps}/\text{m}$ 이다. 이 값은 평균 VCSEL 송수신기 및 결합 섬유 모드의 파장 분포를 보상한다.

[0054] 상이한 반경 방향 의존 방사 패턴을 나타내는 VCSEL 송수신기 또는 다른 소스에 대해, 파장의 반경 방향 변형에 대한 정정을 위해 상이한 보상이 필요하다는 것이 이해될 것이다. 섬유 결합 모드가 반전된 반경 방향 의존 파장 분포(즉, 고차 모드에 결합된 더 긴 파장)를 나타내면, DMD 보상은 음수 대신에 양수가 될 것이다. 일반적으로, 임의의 반경 방향 의존 파장 분포는 감소된 총 분산에 대해 보상될 수 있다.

[0055] 제조 프로세스에서의 변형으로 인해, 여기에 지정된 바와 같은 레이저 최적화 MMF에 대한(10Gb/s 이더넷 또는 고속 파이버 채널에 대한) 분산 보상이 OM4 타입 MMF에 대해 $0\text{ps}/\text{m}$ 및 $0.0\text{--}0.14\text{ps}/\text{m}$ 과 OM3 타입 섬유에 대해 $0\text{ps}/\text{m}$ 및 $-0.33\text{ps}/\text{m}$ 사이의 좌측 시프트 메트릭의 DMD 파형 프로파일 요구를 충족할 것이다. 즉,

[0056] OM4에 대해 $-0.14\text{ps}/\text{m} < (19\mu\text{m} \text{에서의 지연} - 5\mu\text{m} \text{에서의 지연}) < 0.0\text{ps}/\text{m}$ 및 $-0.33\text{ps}/\text{m} < (19\mu\text{m} \text{에서의 지연} - 5\mu\text{m} \text{에서의 지연}) < 0.0\text{ps}/\text{m}$. 이 방식으로, 이 DMD 파형 프로파일 요구를 사용하여, MMF가 제조될 수 있어 재료 분산뿐만 아니라 모달 분산을 보상한다.

[0057] 10GBASE-SR 및 2G/4G/8G 파이버 채널 송수신기의 대표적인 샘플 집단에 의거하여, 송신기 및 섬유 시스템의 총 분산이 $-0.01\text{ps}/\text{m}$ 과 $-0.04\text{ps}/\text{m}$ 사이의 OM4 타입 섬유에 대한 DMD 지연 시프트에 대해 최소화될 수 있는 것이 경험적으로 판단되었다.

[0058] 일 양태에서, 본 발명은 재료 분산 및 모달 분산 효과를 보상하는 섬유 결합 광 파워의 범위 및 지정된 섬유 결합 공간 스펙트럼 분포의 양자를 산출하는 송신기 광학 서브 어셈블리(TOSA)를 포함하는 광학 송수신기를 제공한다.

[0059] 섬유 코어 전역에서 상당한 기울기를 갖는 임의의 섬유 결합 공간 스펙트럼 분포가 적절히 설계된 섬유로 보상될 수 있는 재료 분산을 야기할 수 있지만, 본 발명의 하나의 바람직한 실시예는 도 17에 도시된 바와 같이, 고차 VCSEL 모드를 고차 섬유 모드에 결합시키는 것이다. 이것은 제조 프로세스 동안 TOSA 정렬의 더욱 정밀한 제어 및 TOSA 내에 더욱 정밀한 부품을 요구함으로써 달성될 수 있다. 바람직하게는, TOSA 내에서의 부품의 정렬은 1mm 이하 내의 허용오차에 대한 것이고, TOSA 내의 부품은 1mm 이하 내의 허용오차로 제조된다. 실험 테이터는 이러한 특정 실시예가 섬유 코어 전역에서 더 큰 스펙트럼 분포를 야기하여 보상하는 데 사용될 수 있는 더 큰 재료 분산 효과를 제공하는 것을 제안한다.

[0060] 재료 분산이 모달 분산에 의해 보상될 수 있음이 서술되어 있지만, $8\text{ GHz} \cdot \text{km}$ 미만의 유효 모달 대역폭(EMB)을 갖는 중간 대역폭 레이저 최적화 섬유 및 시중에 시판되는 송수신기에 대해, 모달 분산의 효과는 재료 분산보다 크기가 더 크므로 모달 분산이 재료 분산에 의해 적어도 부분적으로 보상될 수 있다고 판례적으로 말할 수 있다.

[0061] 도 19, 도 20 및 도 21을 참조하면, 10Gb/s 이더넷 및 8Gb/s 파이버 채널 표준에 부합하는 단파장, 고 비트 레이트, 다중 모드 섬유 송수신기에 대한 섬유 결합 공간 스펙트럼 분포를 수량화하는 일련의 실험이 제시된다. 이들 실험에서, 비변형 송수신기(142)가 전력 공급되어 10 Gb/s 또는 8 Gb/s 의사 랜덤 이진 시퀀스(PRBS: Pseudo Random Binary Sequence)로 변조된다. 송수신기(142)의 출력은 적절한 커넥터(LC)로 MMF 패치 코드(148)를 송수신기(142)에 연결함으로써 결합된다. MMF 패치 코드(148)의 원위 단부(distal end)의 단부면이 정

렬된 후 마이크로 위치 결정 스테이지(144)를 사용하여 단일 모드 섬유(SMF) 패치 코드(150)로 스캔되어 광학 스펙트럼 분석기(OSA)(146)에 결합된다. 이 실험적인 구성으로, 섬유 결합 스펙트럼이 MMF 패치 코드(148)의 코어 전역에서 수량화된다.

[0062] 도 20은 특정 송수신기에 대해 2개의 상이한 섬유 코어 반경: $r=0\mu\text{m}$ 및 $r=24\mu\text{m}$ 에서 측정된 섬유 결합 스펙트럼을 나타낸다. 주목할 점은, 스펙트럼 성분이 크게 유사하지만, 그 크기는 유사하지 않고 그에 따라 계산된 중심 파장 λ_c 가 상이하다. $r=0\mu\text{m}$ 에서 λ_c 는 849.7nm 인 한편, $r=24\mu\text{m}$ 에서 λ_c 는 849.2nm 이다.

[0063] 도 21을 참조하면, 2개의 상이한 송수신기에 대해 섬유 코어 전역에서 중심 파장 $\Delta \lambda_c$ 의 계산된 변화($\Delta \lambda_c = \lambda_c - \lambda_{c,\text{최소}}$)가 제공된다. 섬유 결합 파장 변형을 특징짓는 다른 메트릭이 사용될 수 있음이 이해된다. 송수신기 A에 대한 섬유 결합 모드는 감소하는 λ_c 대 송수신기 B에 대한 섬유 코어 오프셋을 나타내며, 여기에서 스펙트럼은 더 짧은 파장의 더 높은 진폭을 갖는다. 이 정보로부터, 송수신기 A용의 제1 TOSA 내의 부품이 정밀하고 잘 정렬되어 있음이 추론될 수 있다. 반대로, 송수신기 B에 대한 섬유 결합 모드는 저차 VCSEL 모드가 고차 섬유 모드에 결합되어 있는 상황에 대응하는 증가하는 λ_c 대 섬유 코어 오프셋을 나타낸다. 또한, 송수신기 B용의 제2 TOSA 내의 부품이 정밀하지 못하고 및/또는 잘 정렬되어 있지 못함이 추론될 수 있다. 요약하면, 중심 파장 변형의 크기 및 균일성은 VCSEL 및 광학 서브 어셈블리 정렬에 의존한다. 이 섬유 결합 공간 스펙트럼 분포는, 파장에 따라 굴절률이 변화하게 하는 유리의 고유의 분산 속성과 함께 재료 분산을 야기한다.

[0064] 전통적인 MMF에서, 850nm 파장 영역 내에서, 굴절률은 감소하면서 파장은 증가하고, 더 짧은 파장 방사는 더 긴 파장 방사보다 증가된 굴절률로 인해 미세하게 더 저속으로 진행한다. 특정 섬유 결합 공간 스펙트럼 분포의 지식이 재료 분산의 효과 및 또한 완전히 보상할 수 있는 특정량(방향 및 크기)의 모달 분산의 양자를 결정하고 재료 분산을 무효화하는 데 사용될 수도 있다. 따라서, 섬유는 특정 섬유 결합 스펙트럼 분포로부터 기인하는 재료 분산을 효과적으로 균형을 유지하는 특정량의 모달 분산을 보유하도록 의도적으로 설계 및 제조될 수 있다. 특정 송수신기/TOSA로부터 기인하는 재료 분산 효과가 특별히 설계된 섬유 굴절률 프로파일로 잘 보상될 수 있지만, 섬유와 송수신기 조합을 개별적으로 최적화하는 것이 상업적으로 비실용적이며; 그 대신에 이 보상은 집단으로 실행되어야 한다.

[0065] 송수신기 섬유 결합 공간 스펙트럼 분포의 범위를 더 잘 이해하기 위해서, 38개의 단파장, 고 비트 레이트, 다른 모드 섬유 송수신기에 대한 내부 섬유 코어 영역 $0\mu\text{m}$ 내지 $5\mu\text{m}$ 와 외부 섬유 코어 영역 $19\mu\text{m}$ 내지 $24\mu\text{m}$ 사이의 섬유 결합 중심 파장의 차이가 결정되었다. 24개의 송수신기는 10 Gb/s 이더넷에 부합하였고, 14개는 8 Gb/s 파이버 채널에 부합하였다. 이를 송수신기는 캘리포니아, 서니베일의 피니사 코포레이션(Finisar Corporation), 캘리포니아, 산호세의 아바고 테크놀로지스(Avago Technologies), 파이버슨 인코포레이티드(Fiberxon Inc.) 및 캘리포니아 밀피타스의 JDS 유니페이스(Uniphase)를 포함하는 여러 공급업체에 의해 제조되었다. 이 데이터의 막대그래프가 도 22에 제공된다. $\Delta \lambda_c$ 의 부호 규약은 내부 영역 $0\mu\text{m}$ 내지 $10\mu\text{m}$ 에서의 $\lambda_c >$ 외부 영역 $11\mu\text{m}$ 내지 $24\mu\text{m}$ 에서의 λ_c 인 경우, $\Delta \lambda_c$ 가 양이 되도록 정의되었다. 도 21의 송수신기 A는 $\Delta \lambda_c = 0.621\text{nm}$ 를 가졌고 도 21의 송수신기 B는 $\Delta \lambda_c = -0.29\text{nm}$ 를 가졌다.

[0066] 불행하게도, 도 22에 도시되어 있는 바와 같이, 테스트되는 송수신기의 집단에 대해 섬유 코어 전역에서 계산된 엘타 중심 파장에 상당한 확산이 존재하며, 따라서 섬유의 모달 분산에 의해 보상되어야 하는 분산에 상응하여 큰 확산이 존재한다. 결과적으로, 잘 보상된 시스템에 있어서, 이 집단의 다양성을 수용하기 위해 다수의 섬유들이 설계 및 제조될 필요가 있다. 또한, 섬유 및 송수신기는 일반적으로 상이한 시간에 설치되므로, 특정 송수신기와 특정 섬유를 연결시키는 것은 비실용적이다.

[0067] 덜 유리한 대체 실시예는 지정된 섬유 결합 공간 스펙트럼 분포가 최소 공간 의존성을 갖도록 VCSEL 모드들을 결합시키는 것이다. 이 특정 실시예는 섬유가 최소 모달 분산을 가질 때 최소 총 분산을 실현하고, 시스템은 재료 분산의 효과에 의해 제한될 것이다. 그러나, 잘 보상된 시스템은 모달 및 재료 분산 효과가 효과적으로 보상될 수 있다는 사실에 기인하여 총 분산 감소가 실현된다는 것에 유의해야 한다.

[0068] 본 발명의 이점은 모달 및 재료 효과를 포함하는 총 분산이 정밀한 분산 보상을 통해 최소화될 수 있다는 사실에 기인하여 더 높은 성능 광학 링크를 가능하게 하는 것이다. 대안으로, 섬유 결합 공간 스펙트럼 분포의 폭넓은 변형으로 인해, 모달 및 재료 분산은 전체 집단의 전역에서 성능을 최적화하도록 섬유를 설계함으로써 부분적으로 보상될 수 있다.

[0069]

도 23을 참조하면, 1) 섬유 결합 공간 스펙트럼 분포를 특별히 제어하지 않는 따라서 도 22에 표시된 TOSA 및 이러한 넓은 분포를 전체적으로 보상하도록 설계된 섬유를 포함하는 링크; 및 2) 특별히 제어된 섬유 결합 공간 스펙트럼 분포를 갖는 TOSA 및 모달 분산과 함께 이러한 재료 분산을 정밀하게 보상하도록 설계된 섬유를 포함하는 링크에 대해 최소 광학 링크 거리의 계산된 확률 분포가 도시되어 있다.

[0070]

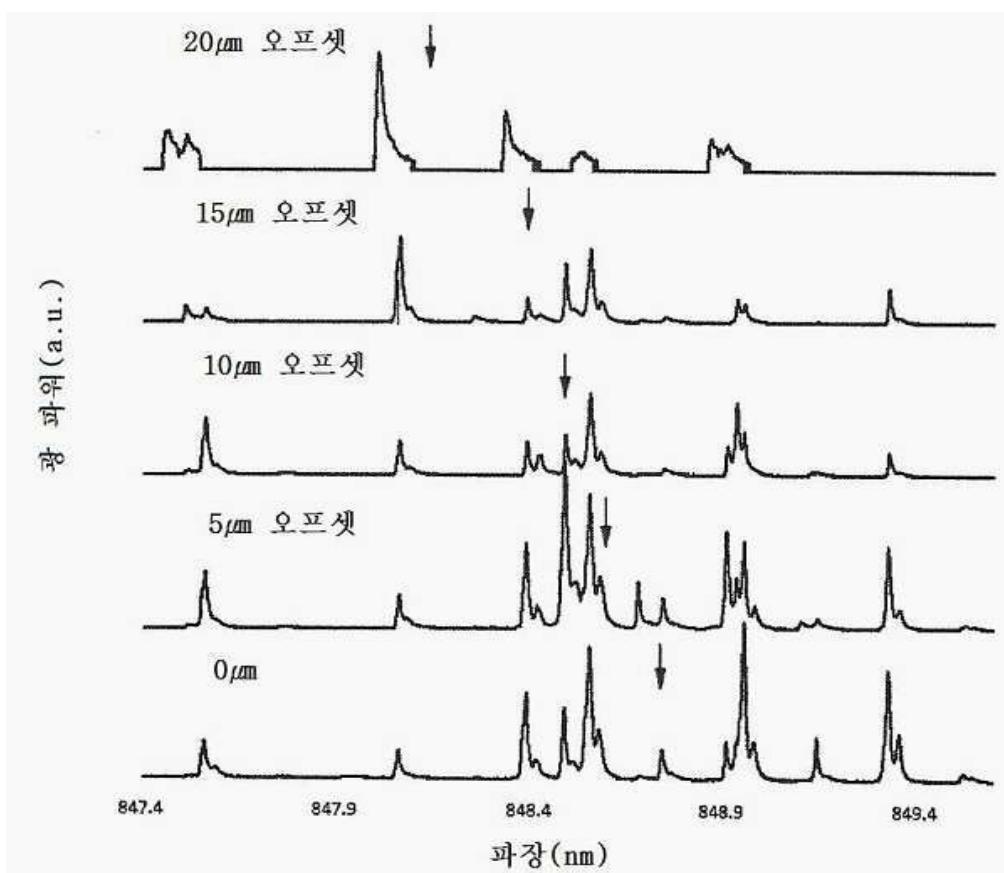
그 결과, 본 발명의 일 양태는 다중 모드 섬유 송신기 광학 서브 어셈블리에서의 재료 분산 및 모달 분산 효과의 양자를 보상하는 방법을 허용한다. 그 방법은 기준 다중 모드 섬유 광학 케이블과 연결된 다중 모드 섬유 송신기 광학 서브 어셈블리의 섬유 결합 공간 스펙트럼 분포를 측정하는 단계, 및 기준 다중 모드 섬유 광 케이블에 나타나는 재료 분산 및 모달 분산의 크기를 결정하는 단계를 포함한다. 나타난 재료 분산 및 모달 분산의 크기가 결정되면, 다중 모드 섬유 송신기 광학 서브 어셈블리로부터 기인하는 기준 다중 모드 섬유 광 케이블에 나타나는 재료 분산 및 모달 분산의 적어도 일부분을 보상하는 TOSA 또는 개량된 MMF가 설계될 수 있다. 이것은 증가된 대역폭으로 MMF 내에서의 광학 신호의 송신을 허용한다.

[0071]

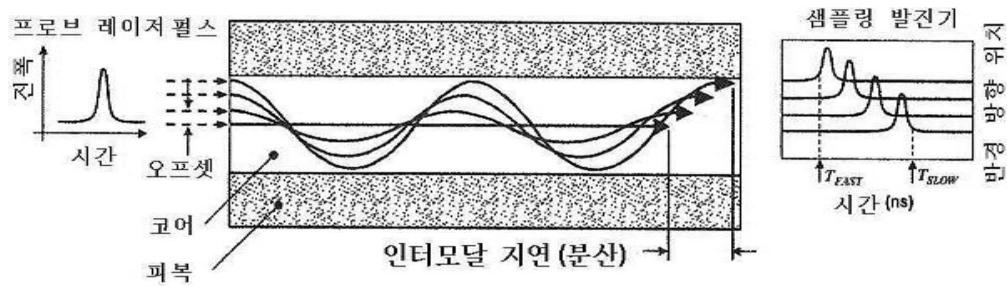
본 명세서에 기재된 본 주제어의 특정 양태가 도시되고 기재되어 있으나, 당업자에게는 본 명세서의 교시에 의거하여, 본 명세서에 기재된 주제어 및 그 더 넓은 양태를 벗어나지 않고서 변경 및/또는 수정이 이루어질 수 있으며, 따라서, 첨부된 청구항들은 그러한 모든 변경 및 수정들을 본 명세서에 기재된 주제어의 진정한 사상 및 범위 내에 있는 것으로서 그 범위 내에 포함할 것임이 명백해질 것이다. 또한, 본 발명은 첨부된 청구의 범위에 의해서만 한정되는 것으로 이해되어야 한다. 따라서, 본 발명은 첨부된 청구의 범위 및 그 등가물을 고려하는 것을 제외하고 한정되지 않는다.

도면

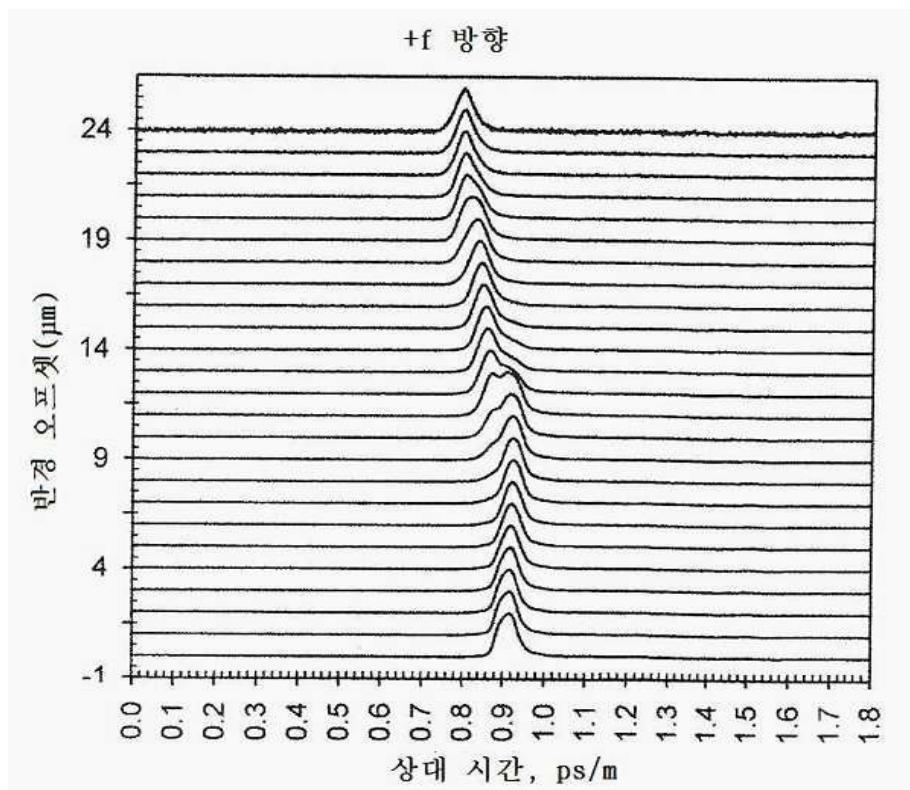
도면1



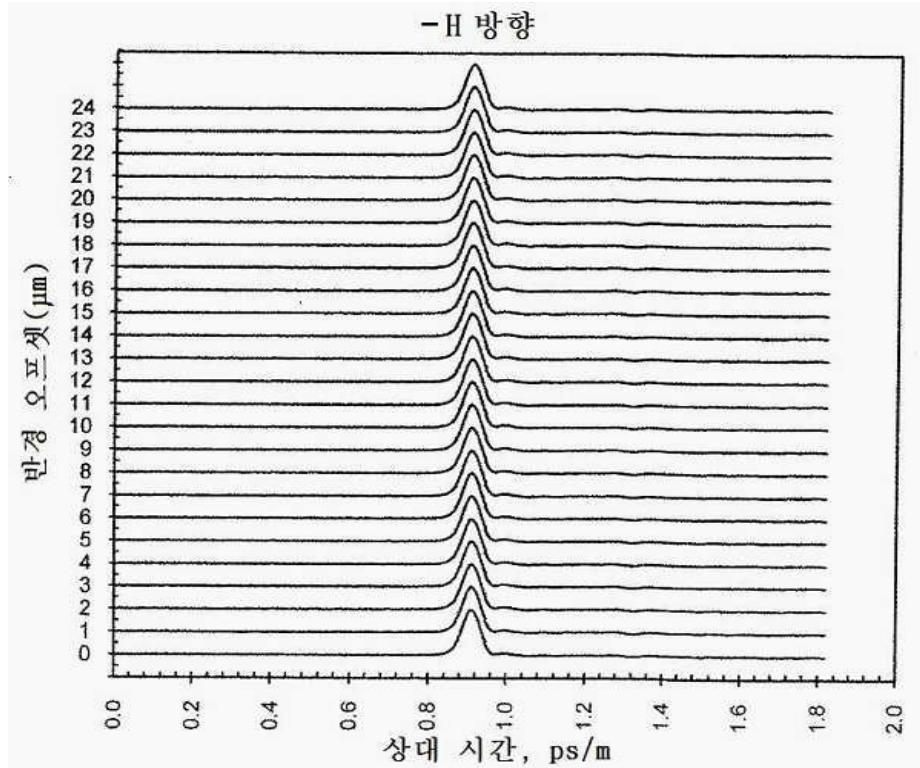
도면2



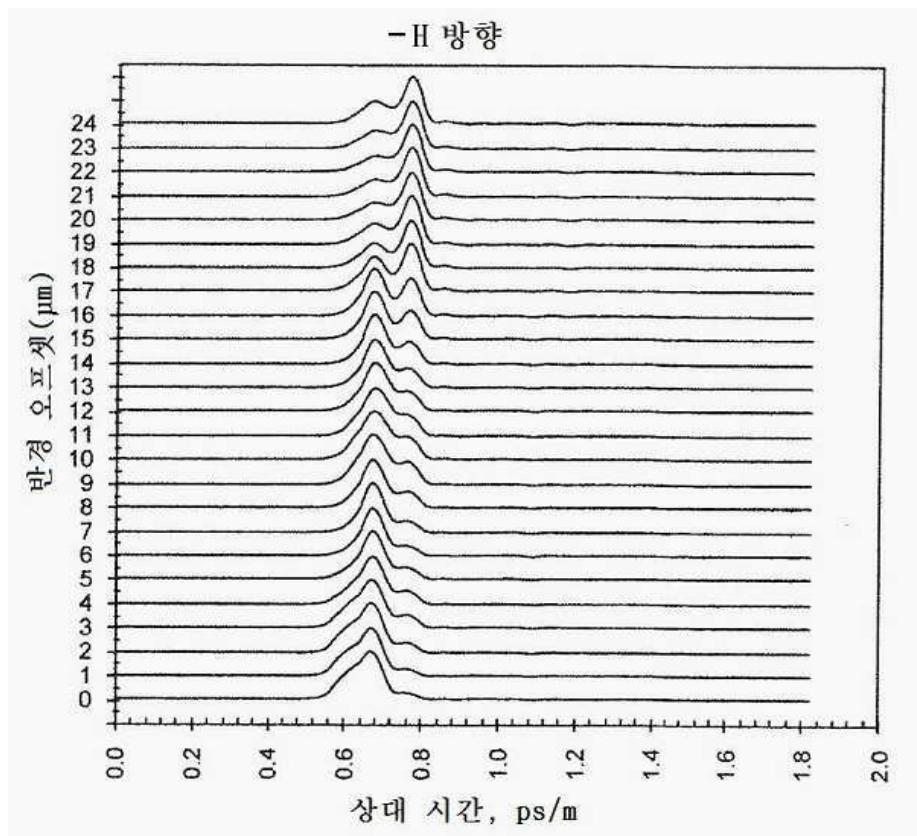
도면3



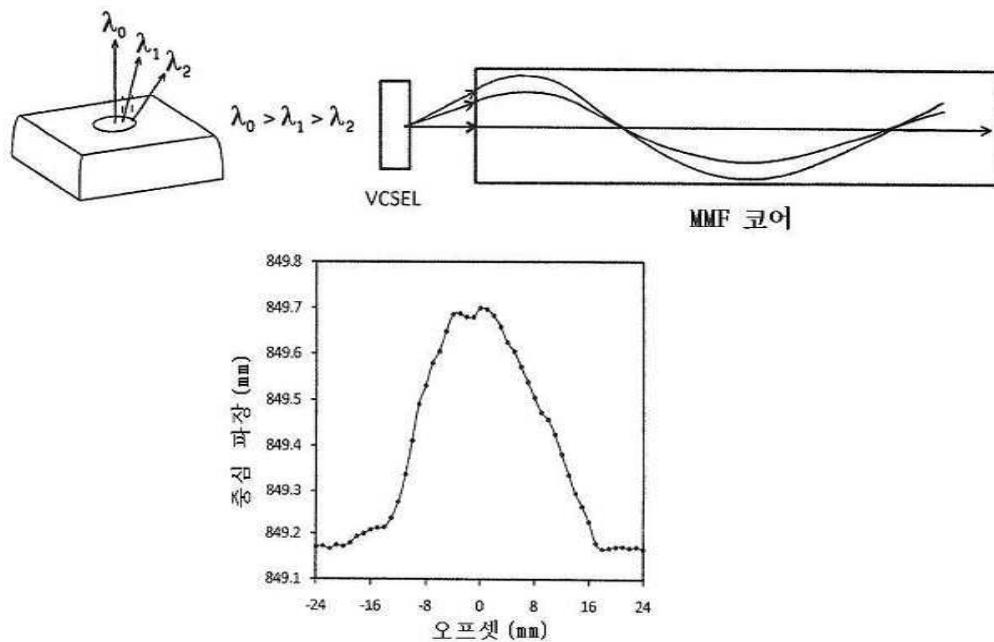
도면4a



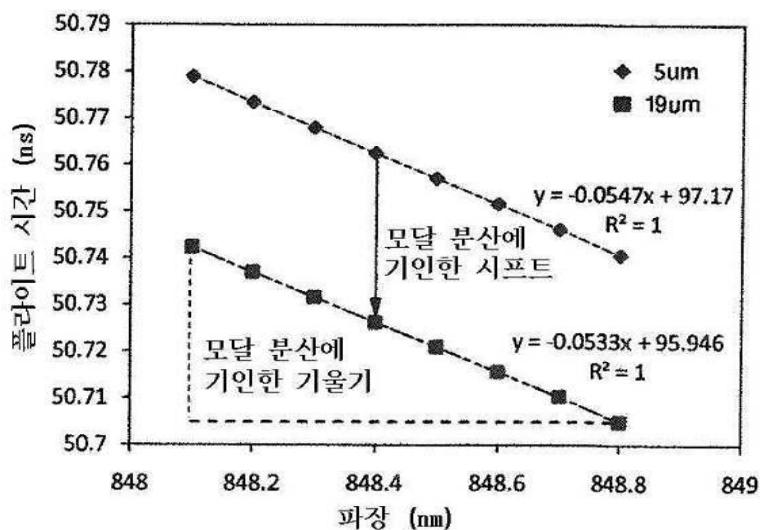
도면4b



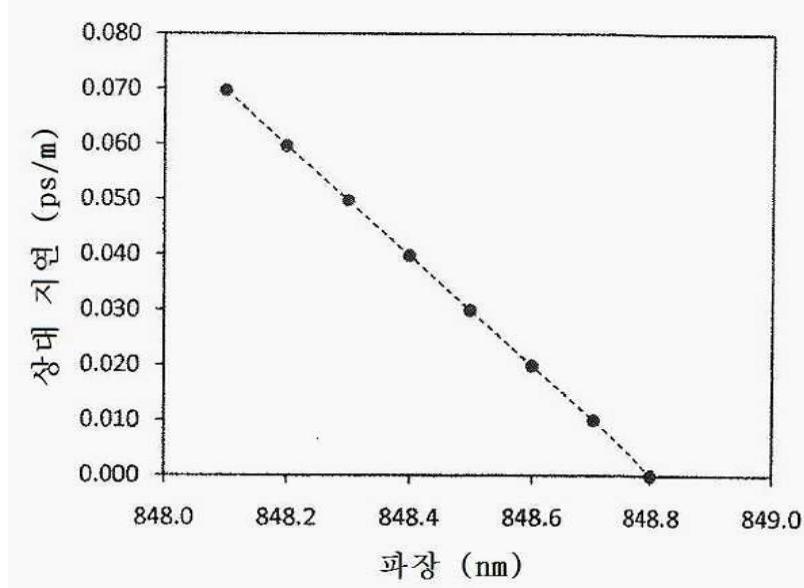
도면5



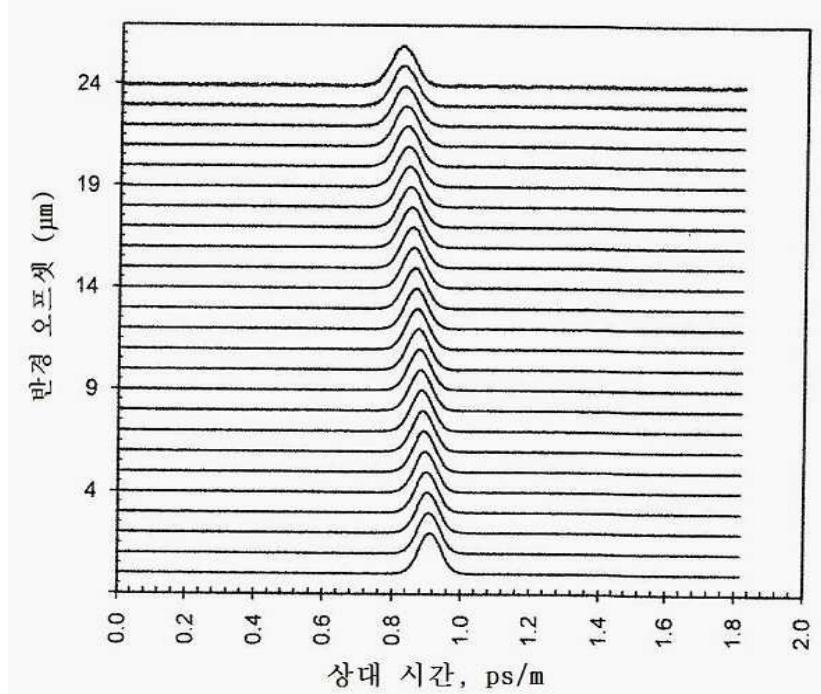
도면6



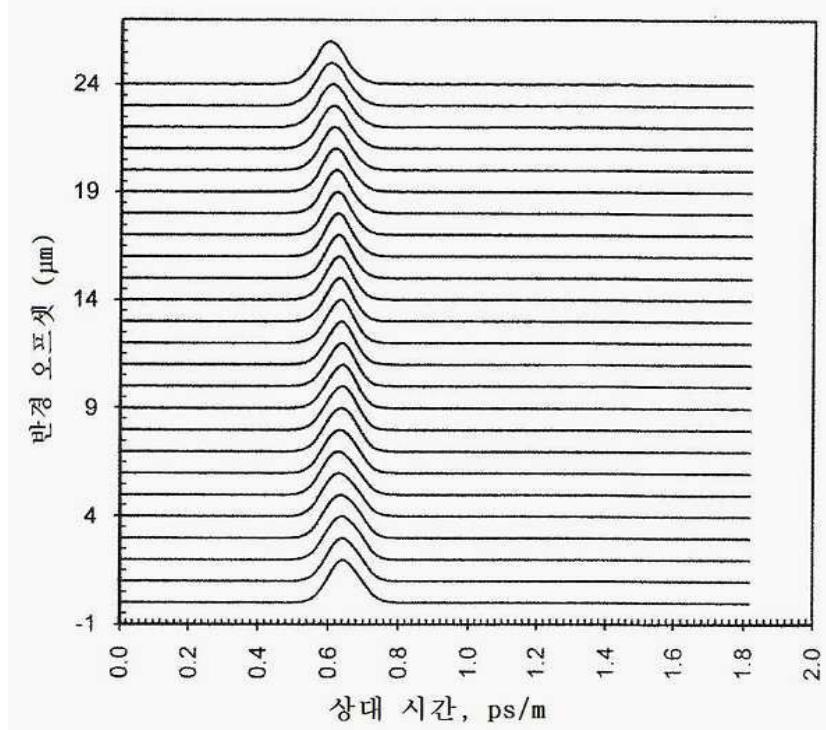
도면7



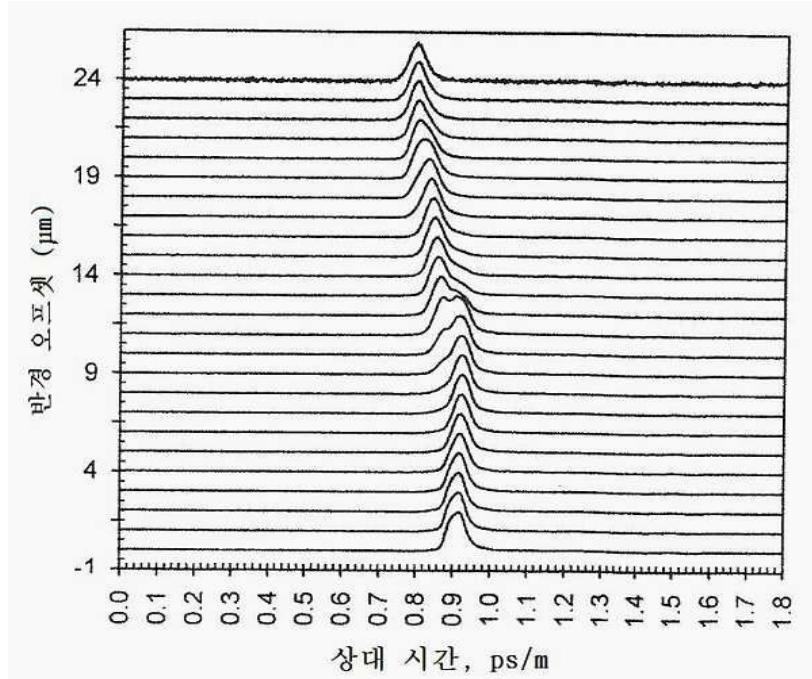
도면8a



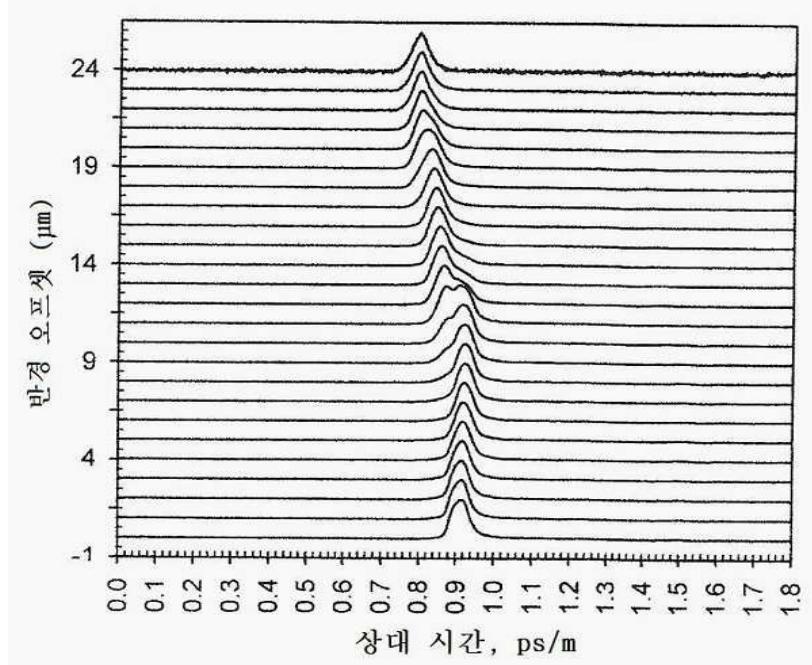
도면8b



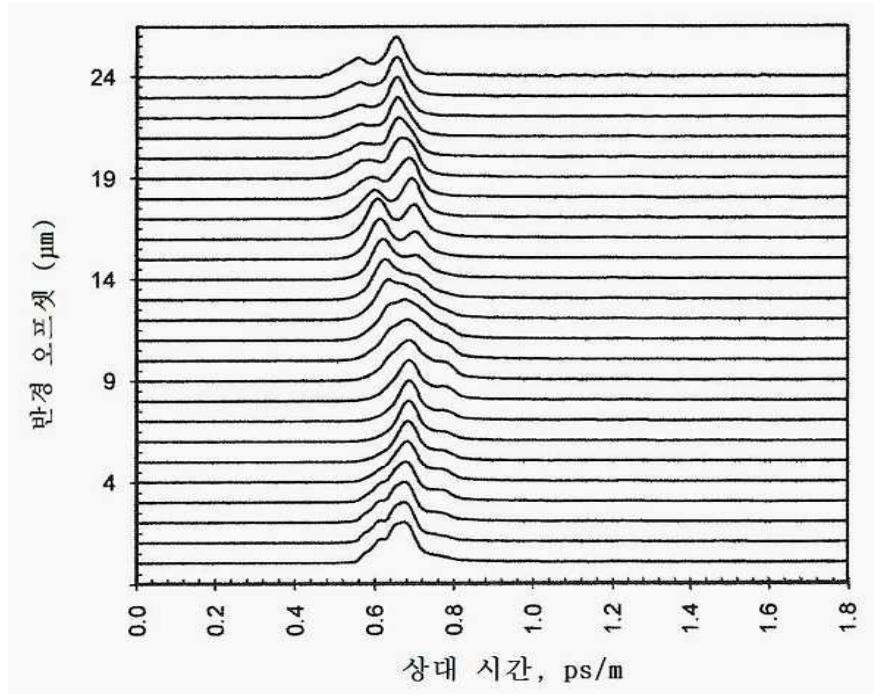
도면9a



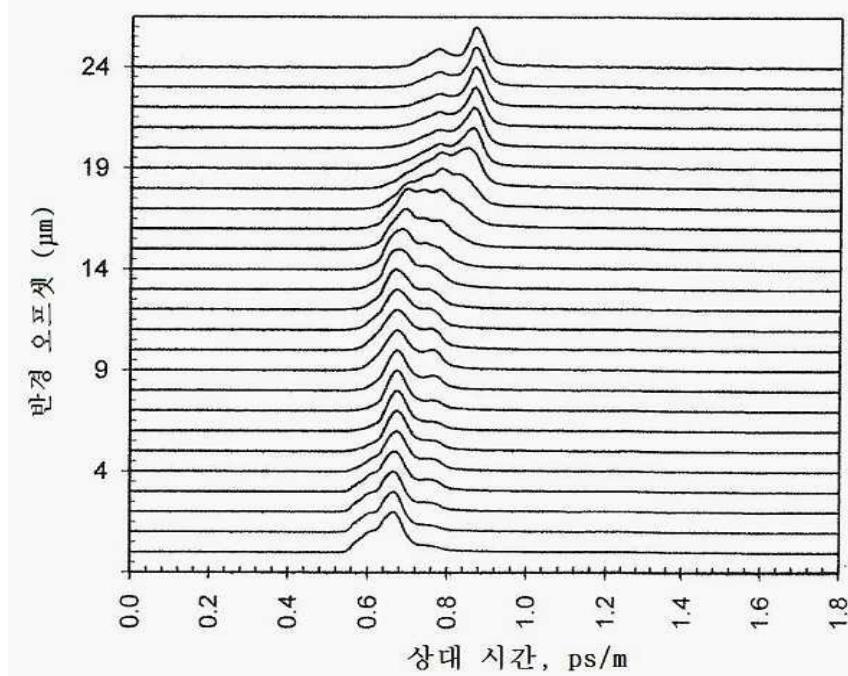
도면9b



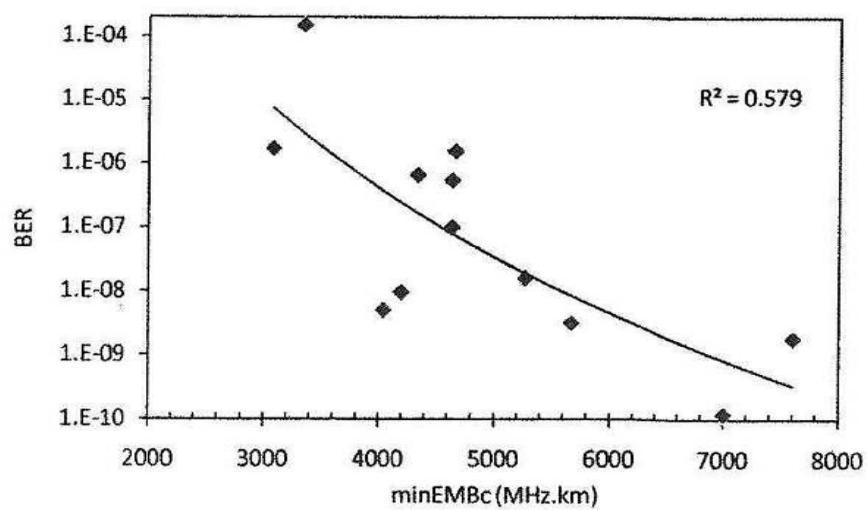
도면10a



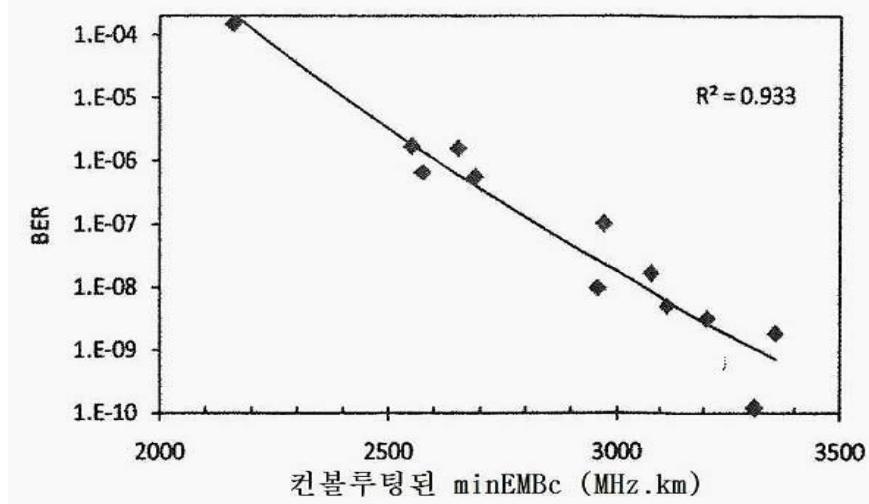
도면10b



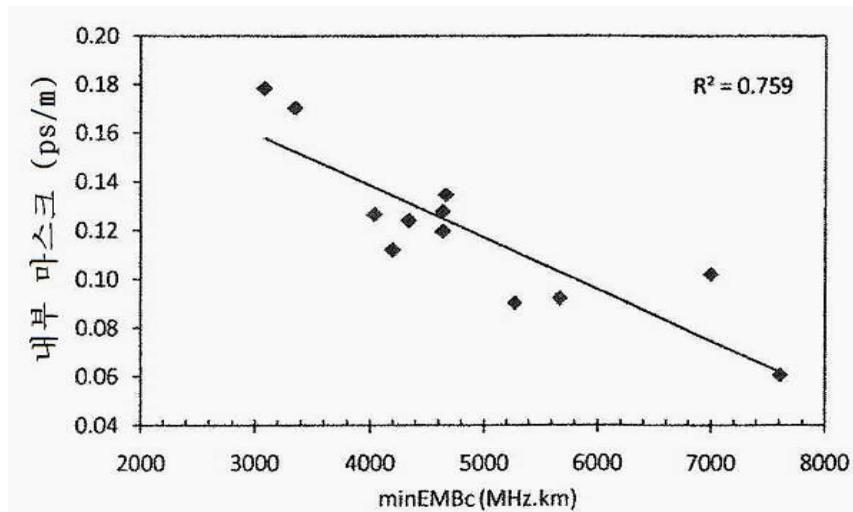
도면11a



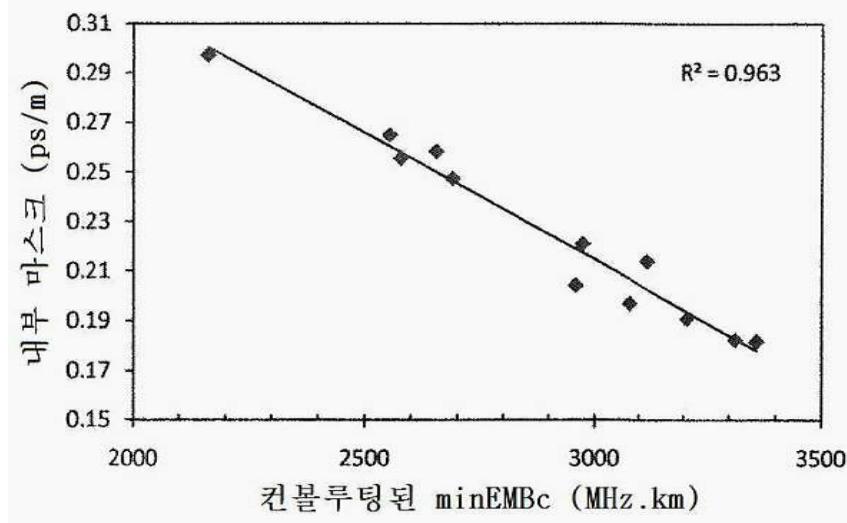
도면11b



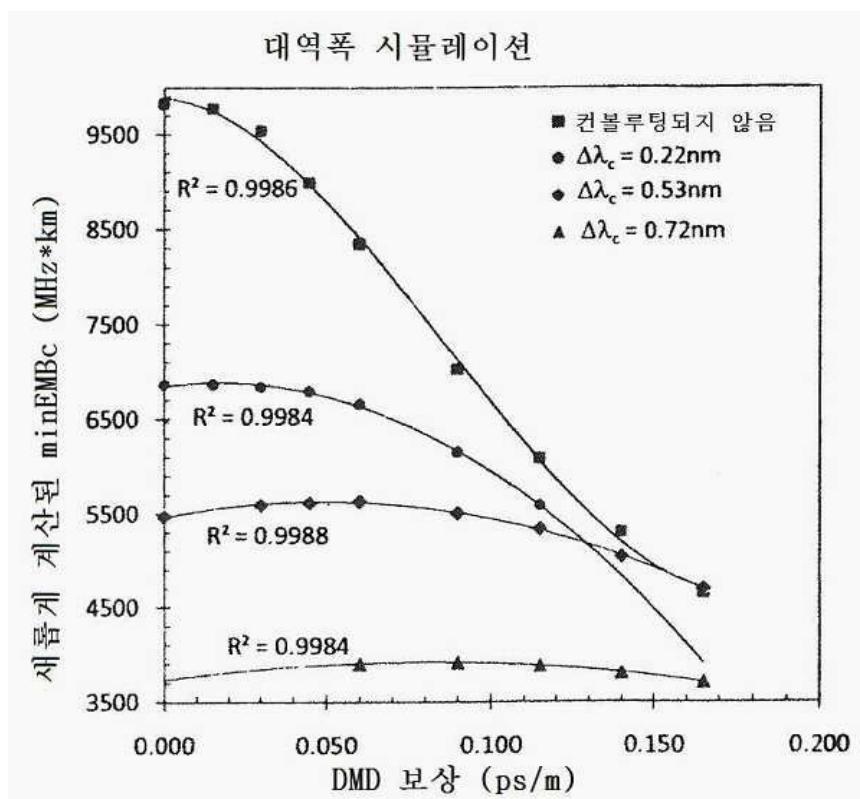
도면11c



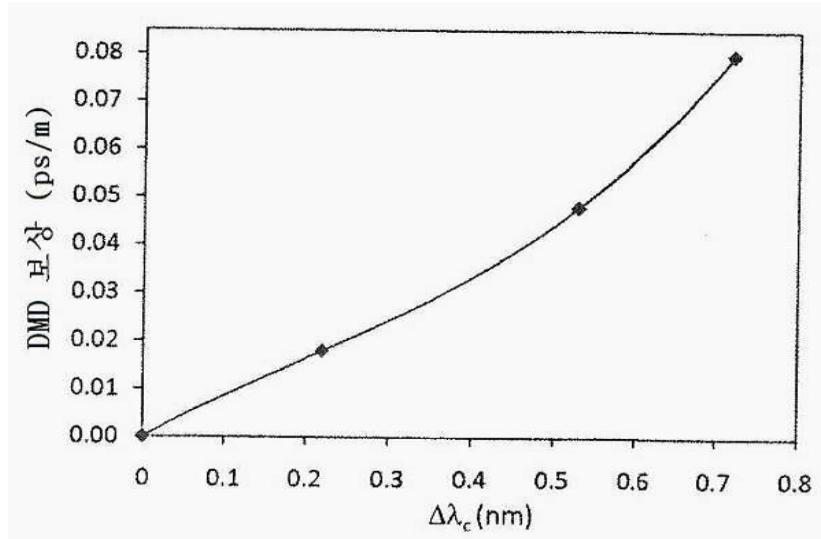
도면11d



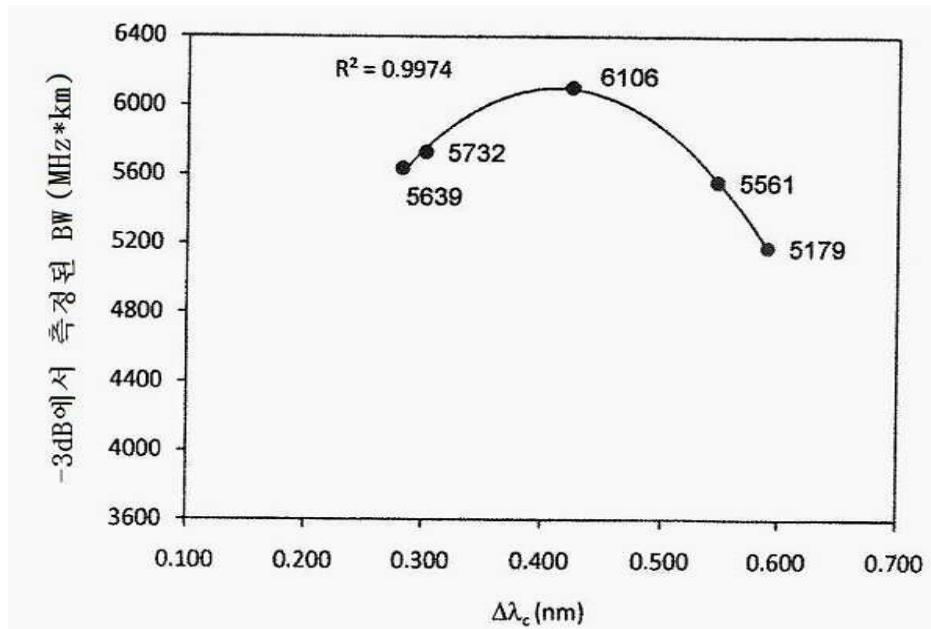
도면12



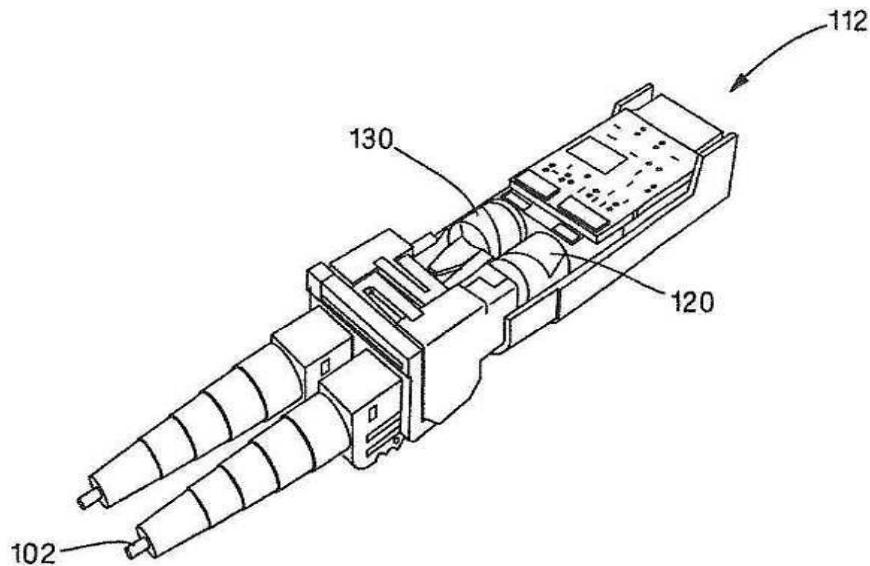
도면13



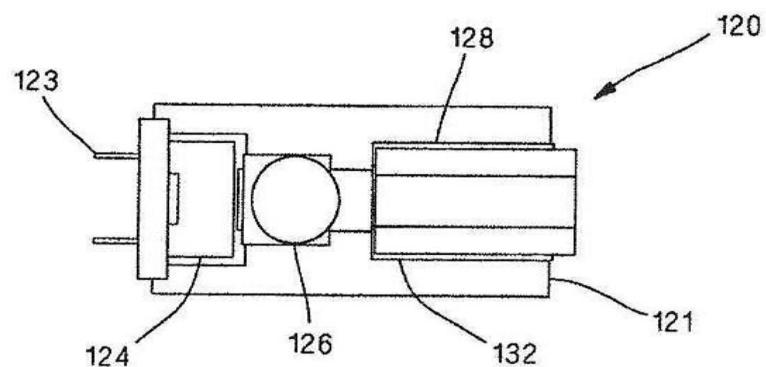
도면14



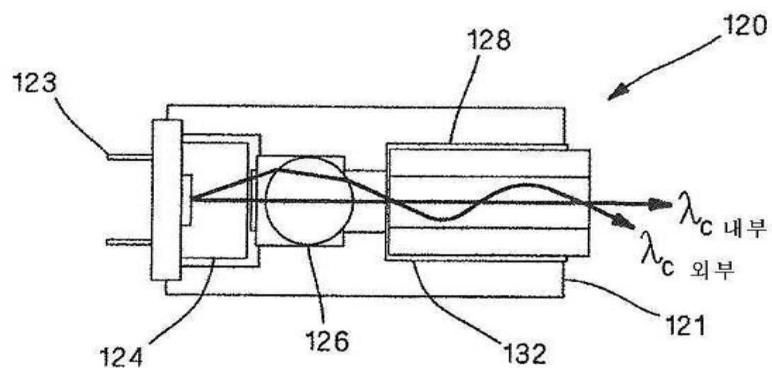
도면15



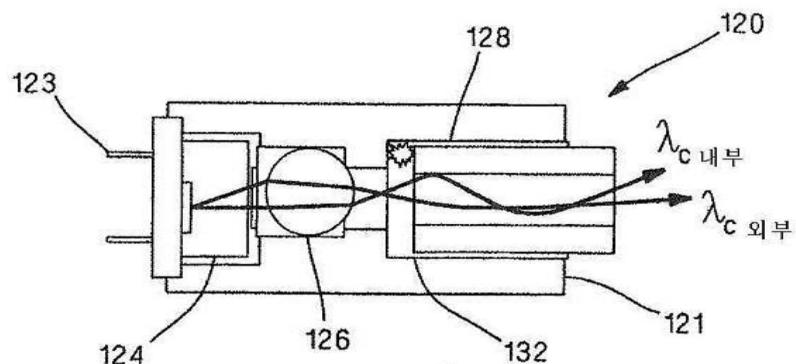
도면16



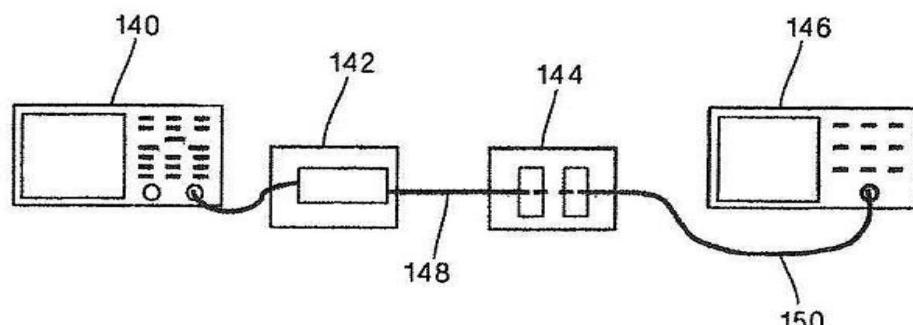
도면17



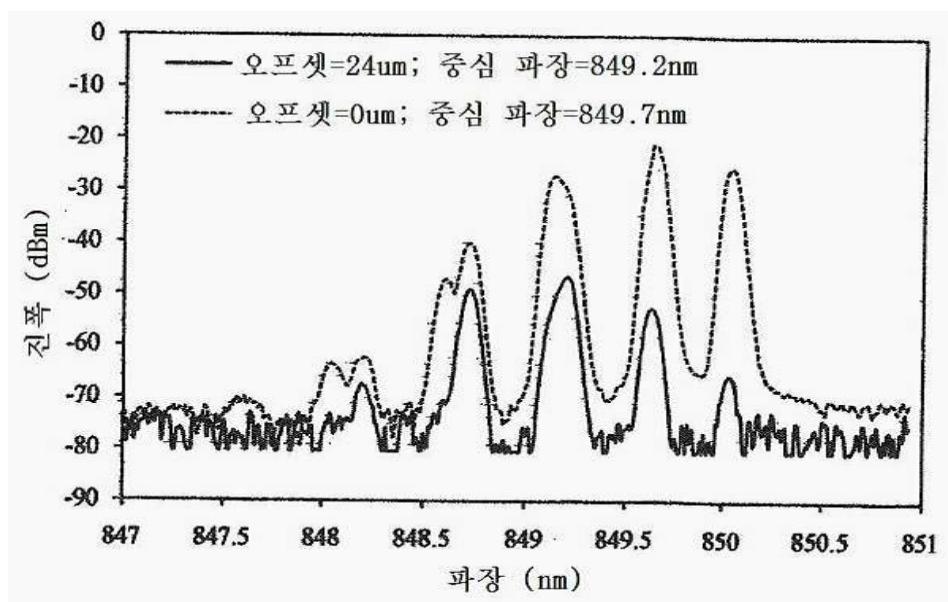
도면18



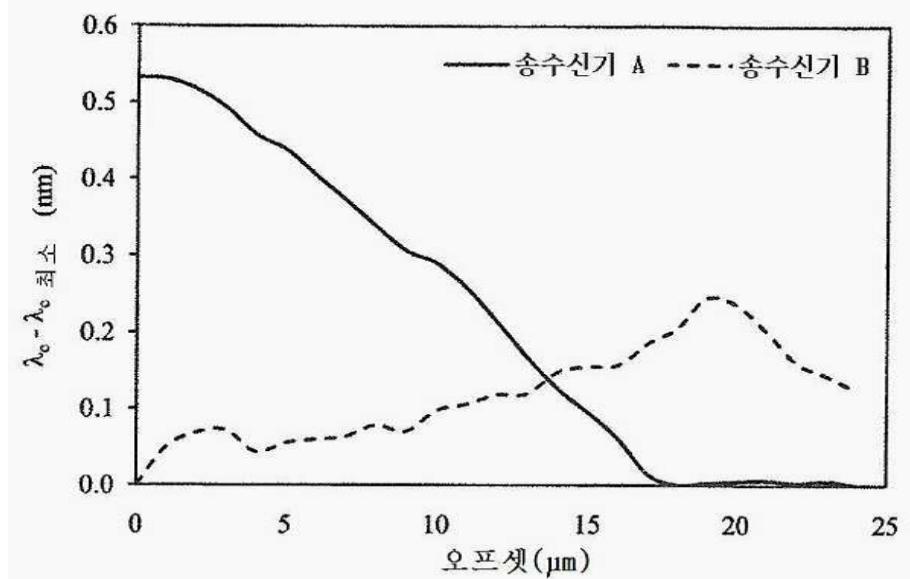
도면19



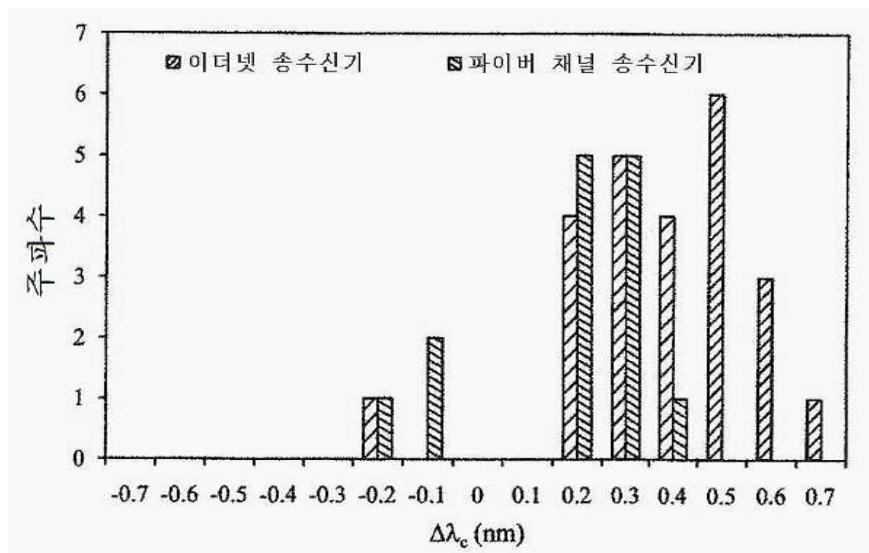
도면20



도면21



도면22



도면23

