(19)대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(51) 。Int. Cl.[6]
H04B 10/13

(45) 공고일자 2003년08월06일
(11) 등록번호 10-0383338
(24) 등록일자 2003년04월25일

(21) 출원번호 10-1996-0004238
(22) 출원일자 1996년02월23일

(65) 공개번호 특1996-0032948
(43) 공개일자 1996년09월17일

(30) 우선권주장 393616 1995년02월23일 미국(US)

(73) 특허권자 에이티 앤드 티 코포레이션
미국 뉴욕 10013-2412 뉴욕 애비뉴 오브 디 아메리카즈 32

(72) 발명자 클린턴 랜디 가일즈
미국, 뉴져지 07751, 모르간벌, 유콘 테라스 4

(74) 대리인 이병호

심사관 : 송인관

(54) 파장분할다중화광섬유통신

요약

WDM 광섬유 전송은 단일 파이버 내의 반대 전송 방향으로 적어도 2 개의 WDM 채널들을 갖는 양방향 전송을 수반한다. 단 방향 전송과 비교할 때, 많은 성능-제한들이 완화된다. 인-그라운드 분산-이동(in-ground dispersion-shifted) 파이버를 사용하는 동작은 종래의 단일 방향 WDM의 시스템 성능을 허용한다.

대표도

도 1

명세서

도면의 간단한 설명

제 1 도는, 회로가 하나 또는 그 이상의 추가 파이버들과 함께 동작하는 완전한 단일 파이버 시스템 또는 서브 시스템을 구성할 수 있으며, 각각의 방향(2+2)으로 2 개의 채널과 함께 동작하는 양방향 파이버의 개략도.
제 2 도는 제 1 도의 시스템과 함께 사용될 수 있는 양방향 증폭기의 한 형태를 도시하는 상세도.
제 3 도는 광 서큐레이터(Circulator)와 파이버 그레이팅 필터(fiber grating filter)를 사용하는 양방향성 애드/드롭(add/drop) 멀티플렉서를 도시하는 회로도.
제 4 도는 서큐레이터가 아닌 WDM 라우터(router)로부터 구성된 제 3 도의 회로에 대안적인 회로도.
제 5 도는 제 3 도와 제 4 도의 애드/드롭 성능(capability)을 갖는 다른 회로도.
제 6 도는 다양한 채널 할당 계획을 도시하는 테이블.
제 7 도는 16-채널 양방향 시스템에 대해 라우터 포트 이용 및 예시적인 인터리브된(interleaved) 채널 할당을 도시하는 도면.
제 8 도는 2-파이버, 8-채널, 단방향 시스템의 회로도.
제 9 도는 2-파이버, 8-채널, 양방향 시스템의 회로도.

제 10 도 내지 제 14 도는 실시예 내의 단방향 및 양방향 전송에 대한 상대적인 신호 변질(deterioration)을 도시하는 그래프.

♠ 도면의 주요부분에 대한 부호의 설명 ♠

1 : 전송기 2 : 수신기
5, 6 : 라우팅 장치 8, 9 : 양방향 증폭기
24, 26 : 펌프

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

기술 분야

본 발명은 파장 분할 다중화(WDM) 광섬유 통신(Wavelength Division Multiplexed optical fiber communications)에 관한 것이다.

관련 기술의 설명

차세대의 광섬유 통신은 파장 분할 다중화 방식을 사용할 것이다. 전체 WDM세트가 광 증폭기에 의해 동시에 증폭될 수 있도록 충분히 가까운 채널 대 채널 공간을 갖는 2.5gbits의 디지털 비트율에서 각각 동작하는 4 채널을 가진 모델 시스템에 대한 계획이 존재한다. 현재 사용되고 있는 에르븀-도핑된 파이버 증폭기들(EDFA)은 12nm의 증폭 대역폭을 가지며, 최근 제품은 25nm로 증가된 증폭 대역폭을 갖는다. -1nm의 WDM 채널 공간들은 추가 성능 향상을 위해 충분한 공간을 남긴다. 라만(Raman) 증폭은 1310nm의 시스템 파장에서 WDM 채널 세트를 분리시키도록 1550nm EDFA 동작을 보강하기 위해 연구 중에 있다.

널리 사용된 분산-이동 파이버(dispersion-shifted fiber: DSF)가 엄격하게 WDM 동작을 제한한다는 것은 최근에 밝혀졌다. 크로마틱(chromatic) 분산 에 기인한 성능 제한을 최소화시키는데 매우 중요한 분산-널링(dispersion-nulling)은, 채널 대 채널 비팅(beating)으로부터 발생한 전력 손실(power penalty)이 예상되는 4 채널 동작을 실질적으로 배제하도록, 4-파 혼합(four-wave mixing: 4WM)에 기인한 열화(degradation)를 더욱 약화시킨다. 이러한 문제점은 1994년 7월 5일 발표된 미국 특허 5,327,516 호의 유한 분산 파이버의 도입으로 해결된다. 이러한 파이버는 4WM을 효과적으로 회피하는 충분한 분산을 가지고 있지만, 비트율을 엄격히 제한하는데 부족하다. 새로운 시스템들은 이러한 파이버의 사용에 의해 완전히 예측된 WDM 성능을 제공한다.

DSF를 사용하는 이미 설치된 단일 채널 시스템들의 WDM 향상의 문제는 또한 제기되어있다. 가장 유망한 접근법은 다른 채널의 반송파를 갖는 4WM 제품의 일치(coincidence)를 회피하는 채널 파장 할당을 사용한다. 1994년 2월 18일에 출원되어 계류중인 미국 특허 출원 08/199,364 호를 참조한다. 그 불균등한 공간 형태는 4WM-제한된 새롭게 설치된 시스템들에 유용하게 응용된다.

가까운 장래의 상업적 활용에 주안점이 있지는 않지만, 디지털 시스템들뿐만 아니라 아날로그도 연구 대상이 되고 있다. 예를 들어, 케이블 TV 'Fiber to the home'은 광증폭에 의해 동작하는 WDM이 아날로그 전송에서 유사하게 역할을 담당할 대표적인 보기이다.

발명의 요약

적절하게 응용된, 단일 광섬유 내의 양방향 전송은 4WM-첨가된 제한들의 완화를 제공한다. 상업적으로 생산된 양방향 증폭기들은 단방향 증폭기들보다 비용이 많이 들거나 더 복잡하지 않아야 한다.

직접적인 의미는 DSF 내의 WDM 성능을 허용하는 인-그라운드 시스템(in-ground system) 또는 요구된 WDM 동작을 허용하는 부족한 분산의 다른 파이버 설계를 개선시키는데 있다.

본 발명의 다중 채널 양방향 전송은 장래의 시스템을 위한 성능의 이점들을 제공한다. 그것은 증가하는 성능에 대응하여 WDM-케이블 시스템의 다양한 형태의 추가 사용일 수 있다. 발명의 실시예들은 DSF뿐만 아니라 유한 분산 파이버를 가지며, 균등한 채널 공간뿐만 아니라 불균등한 채널 공간 갖는 사용을 포함하고 있다.

양호한 실시예들의 변형이 기술된다. 몇몇은 규정된 채널 위치, 예를 들면, 주어진 증폭기 대역폭 예산 내에서 채널 대 채널 공간을 최대화시키기 위한 인터리브된 전방향 및 후방향 채널을 가진 동작을 최적화 한다.

용어

WDM - 가깝게 인접한 채널들, 예를 들어, 단일 광 증폭기에 의한 동시 증폭을 가능하게 하는 5nm 이하의 채널 대 채널 공간을 갖는 채널들을 말한다. 통상의 시스템에 응용될 때, 상기 용어는 4 개 또는 그 이상의 단방향 채널에 사용되는 반면에, 여기서는 각 방향으로 두 채널 정도의 적은 채널을 가진 양방향 시스템을 언 급하는데 사용된다.

채널 - 상기 용어는 WDM 세트의 채널들-회로 내 광 증폭기의 증폭 대역 내에 수용될 수 있는 스펙트럼 폭을 함께 갖는 채널들을 설명하는데 사용된다.

2+2, 4+4, 등 - 단일 파이버 상의 전방 및 후방 채널들의 수(요청된 시스템들의 동작은, 단방향 파이버들이 포함될지라도, 변함없이 적어도 하나의 양방향 파이버에 의존한다).

분산(Dispersion) - 주로 물질 분산 및 도파관 분산의 선형 효과에 기인하여 고려되는 크로마틱 분산(chromatic dispersion). 본 명세서에서 설명할 목적으로, 포괄적인 시스템 설계에서 관심 요인인 자기-위상 변조(self-phase modul

ation)는 고려되지 않는다. 유사하게, 분산의 표시는 분산 보상(dispersion compensation)을 제외하고 일반적인 고려 대상이 아니다.
유한 분산 파이버(Finite Dispersion Fiber) - 시스템 파장에서 1.5ps/nm-km 내지 4ps/nm-km의 범위 내에 분산을 갖는 파이버. 상기 용어는 미국 특허 5.327.516 호의 파이버를 포함하지만, 그에 제한되지 않는다.
최소 분산 파이버(Minimal Disperson Fiber) - 유한 분산 파이버의 범위 아래의 분산을 갖는 파이버. 상기 용어는 최첨단의 잠수함 파이버뿐만 아니라 DSF도 포함한다.
스팬(Span) - 광 증폭기 사이, 또는 분포된 라만 증폭의 경우 펌프 주입 점(pump injecting points)사이의 파이버 거리.
중계기 스팬(Repeater Span)- 광-전기 또는 전기-광 변환 사이의 파이버 거 리. 고려되는 '모델 시스템'에 대해, 중계기 스팬 내에 3 개의 120km 스팬들이 있다.
시스템 파장(System Wavelength) - WDM 스펙트럼 내에(및 차례로, 광 증폭기의 증폭 스펙트럼 내에) 포함된 동작의 공칭 파장. 최첨단의 장거리 시스템들은 1550nm의 시스템 파장에서 동작한다. 예상되는 시스템들은 실리카 파이버의 공칭1310nm '윈도우' 내의 동작을 포함한다.
모델 시스템- 차례로, 3 개의 스팬들로 분리된 하나 또는 그 이상의 360km 중계기 스팬들을 갖는 채널 당 2.5Gb/s 4 채널 WDM 시스템. 상기 용어는 용이한 설명을 위한 주요한 의도로 사용된다. 시스템 성능이나 청구항을 제한하도록 의도되지 않는다. 몇몇 상황 아래, 예상되는 스팬은 보다 작거나 보다 크며, 90km 또는 수백 km 보다는 적다. 현저하게 높은 비트율이 허용된다.
상세한 설명
본 발명의 진보성은 논리적으로 2 가지 카테고리로 분할된다.
카테고리 I - 적어도 한 방향에서 2 개의 채널을 가진, 적어도 하나의 양방향성 전송 파이버를 사용하는 것. 양호한 카테고리 I은, 4WM에 의해 종래에는 금지된 성능에서 동작을 허용하는데 있어서, 하나 또는 그 이상의 2+2 파이버들을 사용한다. 이러한 의미에서, 그것은 최초의 WDM 사용을 표현하는 4-채널 단방향 WDM 시스템을 대치하게 된다. 각 방향으로 2 개의 채널만의 사용은 최근에 커다란 관심을 끌었던 WDM 저하를 완전하게 배제하게 된다. 추가 채널의 기피는 채널 반송파와 동시에 발생하는 채널 쌍의 임의의 4WM의 발생을 배제한다.(2 개의 채널이 적은 전력 손실을 발생시키는 4WM 산출물을 만들어내기 때문에 작은 손상이 있게 된다. 다른 논문에서, 카테고리 I 시스템 및 동작은 '4WM 저하'를 피하는 것으로 설명된다.)
여기서, 진보성은 이미 설치된 시스템들을 개선한 형태를 띄게 될 것이다. DSF에 의해 예시된 카테고리 I 시스템들은 시스템 파장에서 1.5ps/nm-km보다 적은 1550nm 정도의 실제적인 분산 파이버 스팬 길이들을 포함한다. 최첨단의 단일 채널인 잠수 시스템들(underwater systems)은 약 1.2ps/nm-km 분산을 가진 파이버를 사용하고 있다. 이러한 잠수 시스템들은 개선 대상이 되고 있다.
이론적으로는, 동일한 3-채널 단방향 파이버는 약간의 4WM 손실을 입게 되기 때문에, 카테고리 I 개념의 스러스트(thrust)는 2+1 파이버를 가진 동작에 응용 가능하다. 모든 방향으로 같은 트픽(traffic)에 대한 기대는, 적어도 음성 통신에 대해서는, 2+2를 선호하게 될 것이다.
카테고리 II - 조건에 맞는 카테고리 II 시스템들과 동작들은 WDM 시스템 파장에서 1.5ps/nm-km 내지 4ps/nm-km 범위의 분산을 갖는 적어도 하나의 파이버에서 양방향 전송을 요구하고 있다. 1993년 8월 31일 발표된 미국 특허 5,240,488 호에 의해 예시된 1550nm 시스템 내의 이러한 파이버는 일정한 간격으로 배열된 채널에 대해 단일 방향의 모델 시스템 동작을 가능하게 한다. 이러한 파이버 내에서의 분산은 일반적으로 DSF에 대한 대치를 허용할 수 있도록 충분히 낮은 상태이다. 특허에서와 같이, 분산은 터미널 보상에 의해 더욱 감소되어진다. 적절하고, 불균등한 채널 할당(spacing)에 의해 개선되었을 경우에라도, 이러한 파이버를 사용하는 시 스템들은 4WM으로 제한이 된다. 채널의 수와 채널 당 비트율은 단방향 제한을 초과한다.
일반적으로, 동작중인 카테고리 II 시스템들은 앞으로 설치될 시스템과 관련이 있다. 그들은 각 방향으로 적어도 4 채널 전송을 제공하는 하나 또는 그 이상의 파이버들을 포함할 것이라고 예측이 된다. 인터리빙은 카테고리 II 시스템에서 매우 중요하며, 그 시스템은 전송의 각 방향에 더 큰 채널 대 채널 공간을 허용한다.
양방향 전송에 의해 단방향 4WM 제한을 넘는 계획된 시스템들은 그 계획된 시스템 내에 포함되지 않는 특징들을 사용할 수가 있다. 그들은 1550nm 윈도우에서 동작하며, EDFA들을 사용한다. 그들은 라만 증폭을 사용하며, 1310nm 투명 영역에서 동작한다.
다른 관점들
브릴루인 후방 산란(Brilluin back scattering) 및 반대편 채널들의 공간을 제한하는 다른 사항들은 중요하지 않다. 채널 인터리빙은 모든 양방향 시스템에서 유용하다. 그것은 각각의 전송 방향으로 3 개 또는 그 이상의 채널들을 갖는 시스템에서 줄어드는 4WM 제한들의 특정 값이다.
동일한 파이버 상에서 양방향 동작의 편리함은 유지된다. IEEE Photon, Tech. Lett., Vol.5, no. 1, pp76-79 (1993)을 참조한다. 귀환 경로가 동일한 파이버 상에 있는 본 발명의 시스템에 대해서는, 장애를 발견하는 시간이 단축이 되어지며 다운-시간(down-time)의 감소를 가져오게 된다.
4WM으로 인한 품질 저하로부터 상대적인 자유는 어떠한 양방향 시스템에서도 가능하다. 파이버 채널 당 임의의 주어진 총 수에 대해 양방향 동작은 더 큰 채널 대 채널 공간을 허락한다. 브릴루인 후방 산란과 반대편 채널을 제한하는 다른 사항들이 근접한 단방향 채널에 대한 4WM보다 덜 제한적이기 때문에, 이것은 채널 할당(채널 인터리빙이 있거나 또는 없는)에 관계없이 사실이다.
다른 동작 도구 조건들은 일반적으로 변경되어지지 않고 빨리 만족되어진다. 애드/드롭, 멀티플렉싱/디멀티플렉싱, 최적 시간 영역 반사 측정, 및 일반적으로 신호 라우팅에 대한 자세한 회로 배열들이 설명된다.

공간이 좁은 WDM 시스템들은 전체 채널 세트의 동시 증폭을 허락하는데 있어서 특별히 중요하기 때문에 하나 또는 그 이상의 광 증폭기들을 본 발명의 시스템에 통합시키는 일이 고안되어졌다. 발명의 개념은 섬 조사(island-hopping)를 위한 잠수 시스템과 같은 증폭이 안된 시스템들에 유용하게 응용되어질 수 있다. 그것은 WDM 디멀티플렉싱이 로컬 라인의 끝에서 수행되는 장거리 WDM에 의해 제공되는 로컬 망에 응용될 수 있다.

시스템 설계 - 여러 면에서, 양방향성은 작은 시스템 수정을 요구한다. 개선에서 중요한 주요 요구 사항은 종래의 증폭기에 대한 양방향 증폭기의 대치이다. 멀티플렉싱 및 디멀티플렉싱 장비는 양방향 전송을 수용하도록 설계되어야 한다.

제 1 도는 단일 2+2 파이버를 사용하는 양방향 시스템의 한 부분을 도시한 개략도이다. 그 시스템 부분은 전송기(1)와 수신기(2) 그리고 라우팅 장치(3)로 구성된 제 1 터미널을 포함한다. 그것은 전송기(4), 수신기(5)와 라우팅 장치(6)로 구성된 제 2 터미널과 통신을 한다. 통신은 양방향 증폭기(8 및 9)에 의해 제공되 는 단일 파이버 전송 라인(7)에 의해 이루어진다. 전송기들과 수신기들은 멀티플렉싱과 디멀티플렉싱에 대한 적절한 수단들을 가지고 있으며, 전송기(1)에 대한 입력은 파이버(10 및 11)에 대한 제 1 및 제 2 WDM 채널들로 구성되어 있다. 입력되고 있는 반대 방향의 채널들은 파이버(12 및 13)에 대한 전송기(5)에 유입이 된다. 한쌍으로 된 전방향 채널들은 파이버(14 및 15)에 관한 수신기(4)에서 나온다. 한 쌍으로 된 카운터 채널들은 파이버(16 및 17)에 대한 수신기(2)에서 나온다.

제 2 도는 양방향 증폭기의 한 형태를 도시했다. 그것은 2 개의 통신 방향을 펌프(24, 26)와 라우터(25, 27)에 의해 지원되는 증폭 파이버(22 및 23)로 전환하기 위해 2 개의 4-포트 광 서큐레이터(20, 21)를 사용하고 있다. 도시된 시스템은 4 채널 기능을 제공하고 있다. 채널들(f2, f2, f3, f4)은 한 방향으로 전파하는 f1 및 f3와, 다른 방향으로 전파하는 f2 및 f4와 함께 인터리브된 것으로 도시된다. 인터리브된 채널들은, 동일한 총 대역폭을 차지하고 있는 반면, 쌍들 간의 공간을 증가시키고, 멀티플렉싱/디멀티플렉싱뿐만 아니라 광 필터링 조건들을 완화시킨다. 2+2 시스템은 4WM 품질 저하를 방지하기 때문에 채널 대 채널 공간은 일정하다.

파이버 그레이팅즈(fiber gratings)(28. 29, 30, 31)는 필터로 작용하며, 반사와 레일리 후방 산란(Rayleigh back scattering)으로 인한 진동에 대해 안정하다. 애드/드롭 회로는 수신기(32, 33)와 전송기(34, 35)를 포함한다. 전송기와 수신기 쌍은 3B 커플러(coupler)에 의해 결합되어 있다. 낮은 반사도를 가진 그레이팅즈(36, 37)를 사용하면 OTDR을 동작시킬 수 있으며, 증폭기의 이득 영역(gain region)내의 OTDR 파장에서 증폭기 진동을 못하게 한다.

애드/드롭 멀티플렉서는 WDM 채널들을 제거하고, 대치하는 기능이 있으며, 광 증폭기 내에 장치되거나 또는 이산 수동 성분(discrete passive elements)이 될 수도 있다. 제 3 도의 회로는 광 필터링과 채널 후방 산란의 제거를 위해 2 개의 6 포트 서큐레이터(38, 39)를 사용한다. 그 시스템(2+2)은 전방향 전송 채널들(f1 및 f3) 및 역방향 채널들(f2 및 f4)을 가지고 있다. 애드/드롭 멀티플렉싱은 채널들(f3 및 f4)에 대해서 수행이 되어진다. f3를 제거한 후의 동작에 있어서는, 신호가 서큐레이터(38)의 포트(P3)에 도착하고, 포트(P4)로 순환하고, 포트(P4)에 반사되며, 포트(P5)로 순환하며, 다음에 포트(P6)에서 순환하고 제거(drop)되기 위해 2차로 반사된다. 채널(f1)에서는 제 2 의 반사를 경험하지 못하며, 서큐레이터(39)로 들어간다. 그 서큐레이터(39) 안에서 채널(f1)은 포트(P2)로부터 나와 포트(P3)에 존재하게 된다. 이제 새롭게 변조된(f3)는 서큐레이터(39)의 포트(P1)를 통해 유입되며. 포트(P2)로 반사되며, f1과 함께 포트(P3)에 걸쳐 존재하게 된다. 동일한 애드/드롭 기능이 반대 방향으로 나아가는 채널(f4)에 대해 얻어진다. 애드/드롭 필터들은 그레이팅즈로 표시되어져 있으며, 그들의 통과 주파수에 따라 구분된다. 두 서큐레이터의 포트(2 및 5)에 연결된 것으로 표시된 애드/드롭 필터들은 애드/드롭채널을 선택하기 위해 광학적으로 스위칭된다. OTDR 그레이팅즈는 제 2 도와 같이 두 서큐레이터의 포트(P4)에 추가되어진다.

제 4 도에서, WDM 라우터 쌍(40-41)이 양방향으로 움직이는 애드/드롭 채널(2 및 3)의 통신에 대한 양방향 애드/드롭 멀티플렉싱을 위해 사용되어진다.

애드/드롭 기능은 광 스위치 배열 내에 파장 라우터를 장치하거나 파장 라우 터 간에 스위치 배열들을 장치함으로써 조정이 될 수 있다. 제 2 의 구조가 제 5 도에서 사용되어졌다. 도시된 바와 같이 f1 또는 f3 채널들 중 하나는 스위치 배열(50)을 사용함으로써 추가되거나 제거되어진다. 통신과 반대 방향인 채널(f2 또는 f4) 중 하나는 스위치 배열(51)을 사용함으로써 추가되거나 제거되어진다. 이러한 애드/드롭 멀티플렉서로부터는 어떠한 고립 상태도 얻어지지 않으며, 독립적으로 제공되어야 한다. 추가적인 파장은 OTDR 시험을 가능하게 하기 위해 요구되어진다.

제 6 도는 4 채널과 8 채널, 단방향과 양방향 WDM 시스템들에 대한 채널 할당을 비교하고 있다. 컬럼(a, d, e)을 구성하는 가상 세트들은 WDM 품질 저하와 광 필터 기능 및 대역폭의 최적 사용에 의해 결정된 최소 공간을 가지고 있는 균등하게 떨어져 배치되어 있는 세트들로 가정한다. 이 경우에 있어서는, 4WM 품질 저하는 보유하고 있는 채널과 4WM 산출물의 동시성을 피하기 위해 채널 삭제(예를 들면, 컬럼(a)에서 채널(f3, f5, f6 및 f7)의 삭제)에 의해 제거되어진다.

카테고리 I 시스템들의 장점은 처음 세 컬럼에 나타나 있다. 4-채널 단방향 전송(컬럼(a))은 2+2로 인터리브된 (컬럼(b))와 분리 대역(컬럼(c))의 두 가지 형태들과 비교된다. 단방향 전송에 대한 4WM 품질 저하를 방지하기 위해서는 50% 의 채널 사용을 요구하고 있다(최소의 분산 파이버와 불균등한 채널 스페이싱이 모델 시스템 내의 동작을 위해 요구된다고 가정한다). 동일한 성능과 더 큰 것이 컬럼(b 및 c)의 2+2 구조들 중 하나와 동작함으로써 얻어진다. 컬럼(b)의 인터리브된 시스템은 더 큰 채널 대 채널 스페이싱을 가지고 있으며, 필터링을 수행시킨다(4WM 발 생으로 인해 전력 손실을 약간 줄이기도 한다). 컬럼(c) 시스템은 사용 가능한 대치 시스템에 되며, 시스템 디자인이나 장비가 인터리빙을 실행 불가능하게 했을 경우에 선택하는 시스템이 될 것이다.

컬럼(d 및 e)은 8 채널 양방향 전송에 대한 2 가지 가능한 채널 할당 계획들을 보여주고 있다. 8 채널 단방향 전송의 경우는 도시되지 않았으며, 채널 슬롯들의 20% 보다 적은 슬롯들이 단방향 전송을 위해 채워진다. 4WM 품질 저하를 방지하는 것은 컬럼(a)의 단방향 계획중 전방향과 역방향 형태를 합침으로써 이루어낼 수 있다. 컬럼(d)에서는, 채널들이 인터리브되어 있어서 단지 2 개의 비어있는 슬롯만을 남아있게 한다. 단방향 전송의 20% 사용률에 대해 80% 의

슬롯 사용률을 보여주고 있다. 컬럼(d)에서 하나 또는 2 개의 빈 슬롯들이 사용되어진다. 즉 OTDR 을 위해 사용되어진다. 컬럼(e)의 계획은 인터리브하는 것이 아니라 두개의 전파 방향을 위해 WDM 세트들을 분리한다. 그것은 채널 대 채널 스페이싱 보다 두 대역 사이(예를 들면, f8 과 f9 사이)에서 더 큰 분리 대역(guard band)을 제공하기 위해 수정될 수 있다. 컬럼(e)의 할당 계획은 이용 가능한 채널 슬롯의 50%를 사용한다.

그 테이블은 4WM 품질 저하를 막기 위해 채널들이 균등하게 배열된 세트로부터 삭제되고 있는 4 개의 다중 채널 시스템들에 대한 특징들을 요약하고 있다. 분리된 대역을 가진 단방향과 양방향, 그리고 인터리브된 대역을 가진 양방향성이 비교되어진다. BW : 균일하게 배열된 세트의 총 대역폭, Eff : % 로 나타낸 이용 가능한 채널 슬롯들의 사용률, Router : 특정한 포트에 대한 정해진 라우팅을 위해 요구되어지는 라우터 크기.

테이블

채널 번호				
	4	8	16	32
단방향				
BW	8	45	252	1523
Eff.	50%	17.8%	6.4%	2.1%
Router	5x5	21x21	47x47	134x134
양방향· 분리된				
BW	4	16	90	504
Eff.	100%	50%	17.8%	6.4%
Router	2x2	5x5	21x21	47x47
양방향: 인터리브된				
BW	4	10	46	253
Eff.	100%	80%	34.8%	12.6%
Router	2x2	5x5	21x21	47x47

양방향 전송을 위한 라우터 크기에 있어서 감소가 일어났다는 것을 알 수 있다. 예를 들면 32 채널 단일 방향 시스템은 134 x 134 라우터를 요구하는데, 이 크기는 최첨단의 기술을 뛰어넘는 것으로 여겨지고 있다. 양방향 시스템에 대해서는, 요구되는 라우터가 47 x 47이 된다.

제 7 도는 21 x 21 라우터를 이용한 16 채널 양방향 시스템에 대한 라우팅 구조를 보여주고 있다. 최첨단의 21 x 21 라우터는 9.4nm 의 스펙트럼 범위를 요구하고 있다. 발명자의 이름을 따서 'Dragone' 라우터라고 이름지워진 설계는 가 J. Lightwave Tech. vol. 7, no. 3, pp. 479-489 (1989)에 서술되어 있다.

제 8 도는 종래의 파이버 당 2 라인 4 채널 시스템을 보여주고 있다. 그것은 2 개의 독립된 단일 파이버 시스템들로 여겨지고 있다. 제 1은 증폭기(81)를 통해 그와 관련된 WDM 세트를 도입하는 전송기(80), 애드/드롭 멀티플렉서(82), 증폭기(83) 및 WDM 수신기(84)로 구성되어 있다. 제 1의 대칭되는 이미지인 제 2는 전송기(85), 증폭기(86), 애드/드롭 멀티플렉서(87), 증폭기(88) 및 WDM 수신기(89)로 구성되어 있다. 2개의 애드/드롭 멀티플렉서들이 요구되어진다. 각각의 멀티플렉서들은 채널(f1)에 대해서 동작하며, f2, f3, f4는 고속 통신을 위해 남아있다. 다른 채널들로 애드/드롭 기능들을 스위칭시키는 설계가 알려져 있으며, 양쪽 라인에 대해 요구되어진다. 양쪽 전송 라인의 고장은 시스템을 손상하게 된다.

제 9 도는 대응하는 양방향 네트워크를 보여주고 있다. 전송기(90, 91) 및 수신기(92, 93)의 각각은 제 8 도와 같이 4 채널 전체를 지원해준다. 증폭기(94, 95, 96, 97)들은 양방향성이며, 제 2 도의 설계로 가능하다. 나가는 신호들로부터 들어오는 신호들을 분리해내는 라우팅 기능들은 서큐레이터(98, 99, 100, 101)에 의해 수행되어진다. 단지 하나의 애드/드롭 멀티플렉서(102)가 요구되어진다. 도시된 실시예에서, 한 방향의 채널(f1)과 반대 방향의 채널(f2)이 추가/삭제 되어졌다. 제 2 라인의 전체 길이는 고속 통신에만 사용되어진다. 고속 통신을 위한 몇가지 기본적인 보호 방법이 있다. 이러한 보호는 두개의 라인들이 물리적으로 인접해 있지 않을 경우에 최대화가 되어진다.

양방향 전송은 어떤 통신에 대한 이중 전송이 하나의 단일 라인으로 제공되 었다는 점에서 설계의 융통성을 제공해 주고 있다.

양방향 전송은 주어진 방향에서 전파하는 채널들의 수를 반으로 감소시킨다. 파이버내의 모든 채널들은 반사와 후방 산란 손상 때문에 단일의 파장들에 할당되어지지만, 전송기와 수신기의 설계는 단순해질 수 있다. 예를 들면 단일 방향 설계에 대해서는 4 개의 소스 파장들이 요구되어지는데 그 보다는 작은 단지 2 개의 소스 파장만이 각 전송기에서 요구되어진다. 각 전송기는 4 개의 분리된 레이저를 포함하고 있는 것으로 도시되었는데, 오히려 2 개의 공유된 레이저들이 적당하다. 두가지 전파 방향에 대한 채널 파장들은 인터리빙 함으로써, 수신기에서의 채널 스페이싱과 필터

스페이싱이 두배로 되어질 수 있다. 이 사실은 4WM 손실을(2+2 에 대해) 피하는 동시에 필터 기준을 현저히 완화시킨다.
전송기(90)는 적절한 레이저를 온-오프 시킴으로써 애드/드롭 멀티플렉서를 통해 채널이 재라우팅되도록 설계되어 있다. 위의 레이저(f1)와 아래의 레이저(f2)가 온 상태에서, 맨 위의 변조기로부터 나온 신호들이 애드/드롭 멀티플렉서들에서 로컬 트래픽(local traffic)을 형성한다. 전송기(91)의 상응하는 f1 과 f3 레이저들이 온 상태에서 제 3 의 변조기 신호들은 로컬 트래픽을 형성한다. 애드/드롭 멀티플렉서에게 트래픽을 스위칭시키는 방법은 높은 속도의 전기 신호들을 스위칭하는 것을 요구하지 않는다. 그 방법은 고속 라인에서 트래픽의 파장들을 스위치하기 때문에. 그 수신기들은 적당히 정보를 통지받아야 된다. 도시한 바와 같이, 전송기(91)는 동일한 트래픽 재라우팅을 하기 위해 전기 신호들을 스위칭하는 것을 요구한다. 제 8 도의 단일 방향 망에서와 같이, 조절 가능한 애드/드롭 멀티플렉서 가 대치되어질 수 있다.
다음의 예는 단일 방향과 양방향 경우에 대한 4 채널 통신들을 비교하고 있다. 명세서에 부가하여, 본문은 상세한 설명의 중요 부분을 구성하며, 일반화된 것이다.
예
두개의 독립된 실험들이 행해졌다. 동일한 전송 라인과 다른 장비가 양쪽을 위해 사용되어겼다.
시스템 파장은 1550nm이고, f1 = 1554.0nm, f2 = 1554.8nm, f3 = 1555.6nm, f4 = 1556.4nm에서 채널을 발생하기 위해 4 개의 레이저를 사용했다. 3 개의 InGaAsP로 된 분산 피드백 레이저(DFB)과 하나의 조절 가능한 외부-캐비티(cavity) 레이저가 이미 존재한다.(조절 가능한 레이저에 의해 어떤 특별한 목적도 지원을 받지 못했다. 단순히 실험측정자 에게는 이용 가능한 DFB들이 충분하지 못했다). 양방향 전송에서는 소스들이 3dB 결합기의 인터리브된 쌍들, 즉 f1 - f3와 f2 - f4를 통해 결합되어진다. 채널 쌍들은 $LiNbO_3$ Mach Zhender 변조기를 통해 외부적으로(externally) 변조되어진다. 변조율은 $2^{23}-1$ 의 의사 랜덤(pseudo random) 비트 스트림(지시된 길이의 반복 통로(repeating passage)를 가진 'PR')을 가진 2.5Gb/s였다. 이것은 실제 조건들과 거의 같은 채널 대 채널 비상관 관계(decorrelation)의 정도를 확실히 증명해주고 있다.
파이버 스팬 길이는 100km였으며, 50㎛ ^{2} 실제 코어 영역과 평균 손실 0.22dB/km 를 가진 DSF로 구성되어 있고, 1551.8nm에서 분산의 현상이 없어진다(dispersion-nulled). EDFA 들은 채널 당 전력을 8dBm으로 올렸다.
2 채널 디멀티플렉서와 양방향 송수신기 터미널은 3-포트 광 서큐레이터들과 대역 통과 파이버 그레이팅즈를 사용했다. 파이버 그레이팅즈는 채널 파장들에서 100% 의 반사율과(서큐레이터 그레이팅즈를 집합 전송으로 하기 위해), 0.8nm-3dB 대역폭과, 30dB 보다 큰 근접 채널 거절(adjacent channel rejection)등을 가지고 있다. 로컬 전송기로부터 나온 반사되어지고 레일리-산란된된 빛은 송수신기 서큐레이터와 디멀티플렉서 사이에 있는 1554.0nm와 155.6nm 파이버 그레이팅 로킹 필터(locking filter)에 의해 로컬 수신기에 도달되지 못하게 된다.
디멀티플렉서에 대한 삽입 손실(insertion loss)은 1554.8nm 포트에 대해서는 2.9dB였고, 1556.4nm에 대해서는 1.8dB였다. 전송기에서 송수신기 서큐레이터를 거쳐 파이버까지의 손실은 1.1dB였다. 파이버에서 송수신기 서큐레이터를 거쳐 로킹 그레이팅즈(locking gratings)까지의 손실은 2.0dB였다.
결과들이 그래프로 나타나 있다. 제 10도, 제 11 도에는 단일 방향, 제 12, 제 13, 제 14 도에서는 양방향 전송에 관해 나타나 있다. 모든 특징들은 dBm으로 표시된 광 전력과 nm으로 표시된 파장의 좌표 상에 있다.
제 10 도에 있는 결과들은 100km 이상의 거리에 나타나는 광 스펙트럼을 도시한다. 제 2 채널(1554.8nm)에 대한 전력 손실은 그 채널을 동작 중지시킴으로써 측정이 되어지며, 그리하여 그 슬롯 위치에서 간섭하는 4WM 산출물/S만을 남겨둔다. 모든 채널이 동작중인 상태에서 측정치는 굵은 선 위에 있으며, 제 2 채널에 관한 측정치는 점선 위에 도시되어져 있다. 4 채널에서 3 채널로 이동할 때(즉 제 2 채널을 중지시킬 때), 4WM 산출물의 수가 감소하게 된다. 이것은 채널 파장들의 밖에 있는 영역에 대한 곡선들을 비교해 봄으로써 명백하게 알 수 있다. 제 11 도는 디멀티플렉서의 1554.8nm 포트에 있는 스펙트럼을 도시한 것인데, 동작중인 1554.8nm 채널이 있을 때와 없을 때를 도시한다. 감소가 심하게 나타난다.
양방향 전송에 관한 결과에 대해 언급하면, 제 12 도는 동작 상태가 아닌 554.8nm 채널이 있을 때와 없을 때의 스펙트럼을 보여주고 있다. 상부 곡선은 100km 전송이 넘는 곳에서 전방향 1554.0nm와 1555.6nm 채널들을 도시하고 있다. 단지 2 개의 약한 4WM 산출물만이 눈에 뜨인다. 채널 로킹 필터들은 단지 채널 파장들 밖의 신호들과, 4WM 및 Rayleigh backscattering 산출물을 통과하게 된다. 제 12 도의 낮은 스펙트럼은 그 위치에서의 측정치로부터 그려진 것이다.
제 13 도는 블로킹 필터들을 거친 뒤에 나타난 스펙트럼을 도시하고 있는데, 1554.8nm와 1556.4nm 채널이 동작중인 상태이다. 굵은 선으로 나타낸 스펙트럼은 1554.0nm와 1555.6nm 채널들이 동작중인 상태에서 측정되어졌으며, 점선은 모든 채널들이 동작중인 상태에서 측정되어졌다. 추가 채널들을 동작시킬 때의 유일한 효과는 레일리 후방 산란을 낮추는 것이었다.
제 14 도는 1554.8nm와 1556.6nm에서 디멀티플렉스된 채널들을 도시하고 있다. 1554.8nm에 대한 유일한 간섭은 1556.4nm 채널의 -133dB누설(leakage)이었다.
비트 에러율은 단일 방향과 양방향 전송의 경우에 대해서 비교되어졌다. 중요한 감소는 4 채널 단일 방향 전송에 대해 발생했다. 가장 낮게 얻을수 있는 수신 기 감도 손실은 1.6dB였다(감소는 상대적 채널 분극화에 따라 달라진다). 그에 반해, 측정된 1554.8nm 채널에 대해서는 어떠한 감소도 관찰되지 않았다.

(57) 청구의 범위

청구항 1.

시스템 파장에서의 동작을 위해, 전송기와, 수신기와, 적어도 하나의 전송 파이버의 스팬을 포함하는 광섬유 통신 시스템으로서, 상기 스팬은, 상기 스팬 내의 파이버 손실의 실질적인 부분을 보상하는 적어도 하나의 광 증폭기를 포함하고, 시스템 파장을 함께 포함하는 적어도 4개 채널 파장 값들의 한 세트에 대해 동시 동작을 제공하며, 채널 대 채널 파장 간격은 5nm인, 상기 광섬유 통신 시스템에 있어서,
적어도 하나의 시스템 파이버는 적어도 4개 채널의 한 세트를 양방향으로 전송하고, 상기 세트는 제 1 전송 방향으로 2개의 채널들을 제 2 전송 방향으로 2개의 채널들을 포함하고 있으며, 광 증폭기가 채널들의 전체 세트를 동시에 증폭시키는 것을 특징으로 하는 광섬유 통신 시스템.

청구항 2.
제 1 항에 있어서,
상기 스팬의 길이는 적어도 90km이고, 디지털 신호들이 전송되며, 상기 시스템은 적어도 2.5Gb/sec의 채널 당 변조율을 제공하는 광섬유 통신 시스템.

청구항 3.
제 1 항에 있어서,
상기 스팬 내의 광 증폭기는 파이버 증폭기인, 광섬유 통신 시스템.

청구항 4.
제 3 항에 있어서,
상기 광 증폭기는 에르븀 도핑된 파이버 증폭기인, 광섬유 통신 시스템.

청구항 5.
제 1 항에 있어서,
상기 스팬 내의 파이버의 크로마틱 분산(chromatic dispersion)은 상기 시스템 파장에서 1.5ps/nm-km보다 작은, 광섬유 통신 시스템.

청구항 6.
제 5 항에 있어서,
상기 파이버는 분산-이동 파이버(dispersion-shifted fiber)인, 광섬유 통신시스템.

청구항 7.
제 1 항에 있어서,
상기 제 1 및 제 2 전송 방향으로 적어도 하나의 채널의 애드/드롭(add/drop)을 제공하는 애드/드롭 장치를 포함하는 광섬유 통신 시스템.

청구항 8.
제 7항에 있어서,
결함 위치(fault location)를 위한 광 시간 분할 반사 측정(optical time division reflectometry)(OTDR)에 제공되는 적어도 하나의 부가적인 채널을 포함하는 광섬유 통신 시스템.

청구항 9.
제 8 항에 있어서,
OTDR-검출된 결함에 응답하여 상기 스팬의 대체(substitution)를 신호하는 수단을 포함하는 광섬유 통신 시스템.

청구항 10.
제 4 항에 있어서,
상기 적어도 하나의 시스템 파이버는 4개 채널 이상의 한 세트를 전송하는, 광섬유 통신 시스템.

청구항 11.
제 10 항에 있어서,
상기 세트는 제 1 전송 방향으로 4개 채널과, 제 2 방향으로 4개 채널의 적어도 8개 채널을 포함하는, 광섬유 통신 시스템.

청구항 12.
제 1 항에 있어서,
상기 명목상의 시스템 파장은 1550nm인, 광섬유 통신 시스템.

청구항 13.
제 12 항에 있어서,
상기 시스템은 제 2 시스템 파장을 갖는 채널들의 제 2 세트의 전송을 제공하는 광섬유 통신 시스템.

청구항 14.
제 1 항에 있어서,
상기 명목상의 시스템 파장은 1310nm인, 광섬유 통신 시스템.

청구항 15.
제 1 항에 있어서,
상기 세트의 채널들은 채널 전송 방향이 채널 파장들의 오름차순으로 적어도 두 번 변화하도록 인터리브되는, 광섬유 통신 시스템.

청구항 16.
단일 파이버 내에서 적어도 4개 채널을 통한 동시 전송을 포함하고, 시스템 파장에서 1.5ps/nm-km보다 작은 크로마

틱 분산을 갖는 광섬유의 광학적으로 증폭된 스팬을 사용하는 통신 방법으로서, 상기 채널들은 상기 스팬 내에서 광 증폭기의 스펙트럼의 범위 내에 함께 포함된 채널 대 채널 파장들을 가지는, 상기 통신 방법에 있어서,
상기 단일 파이버 내의 전송은 제 1 전송 방향으로 전송하는 한 쌍의 채널과 제 2 전송 방향으로 전송하는 한 쌍의 채널을 갖는 양방향성인 것을 특징으로 하는 통신 방법.

청구항 17.

제 16 항에 있어서,
전송은 각각의 쌍 내의 각각의 채널들에 대해 적어도 2.5Gb/sec의 채널 당 비트율을 갖는 디지털인, 통신 방법.

청구항 18.

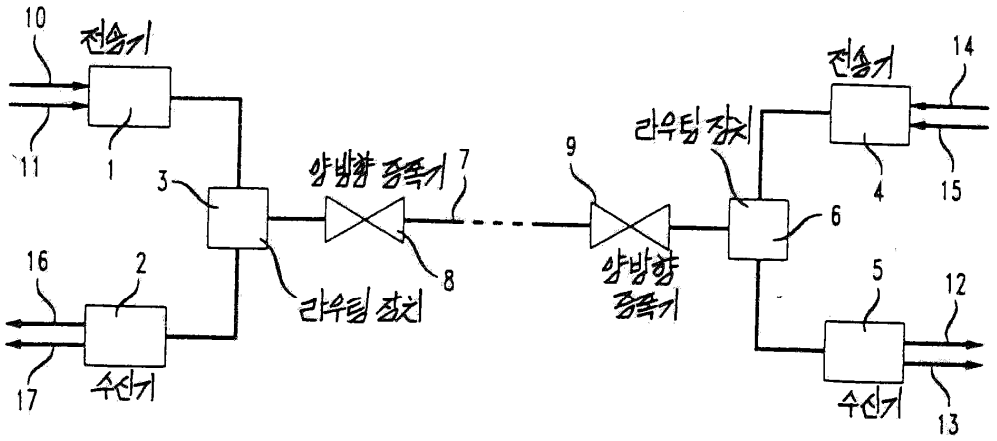
제 17 항에 있어서,
채널들은 오름차순의 채널 파장들이 적어도 두 번 전송방향으로 변화하도록 단일 파이버 내에서 인터리브되는, 통신 방법.

청구항 19.

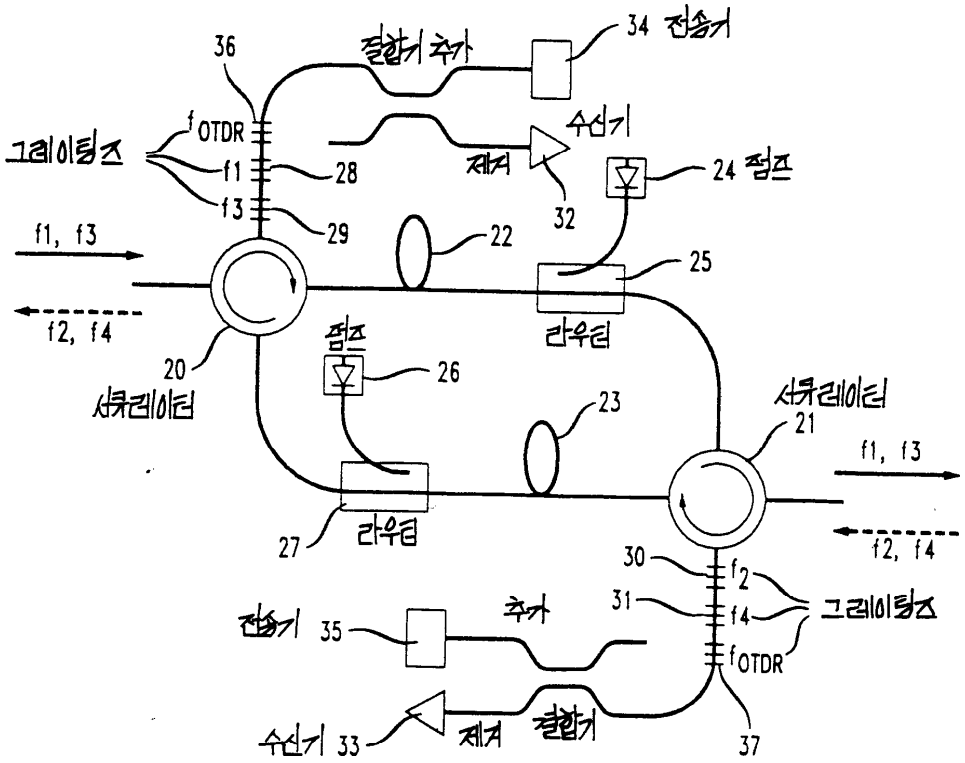
제 16 항에 있어서,
상기 스팬의 파이버는 본 출원의 출원일 전에 설치되었고, 상기 파이버는 분산-이동 파이버인, 통신 방법.

도면

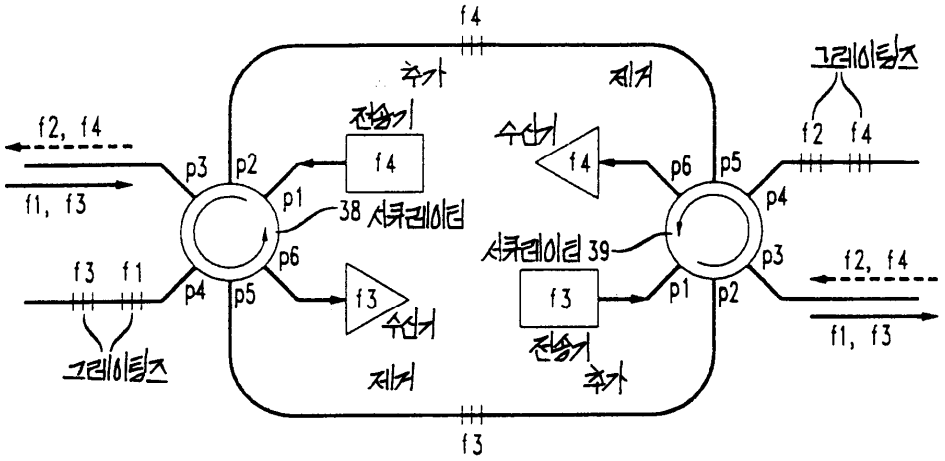
도면1



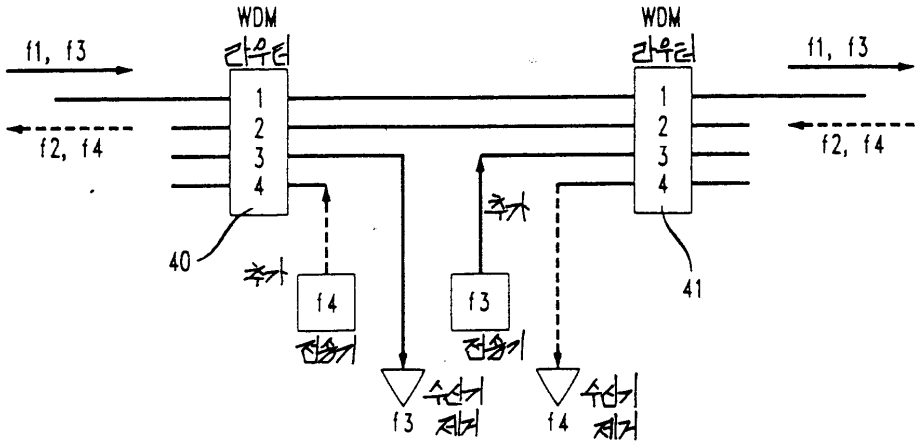
도면2



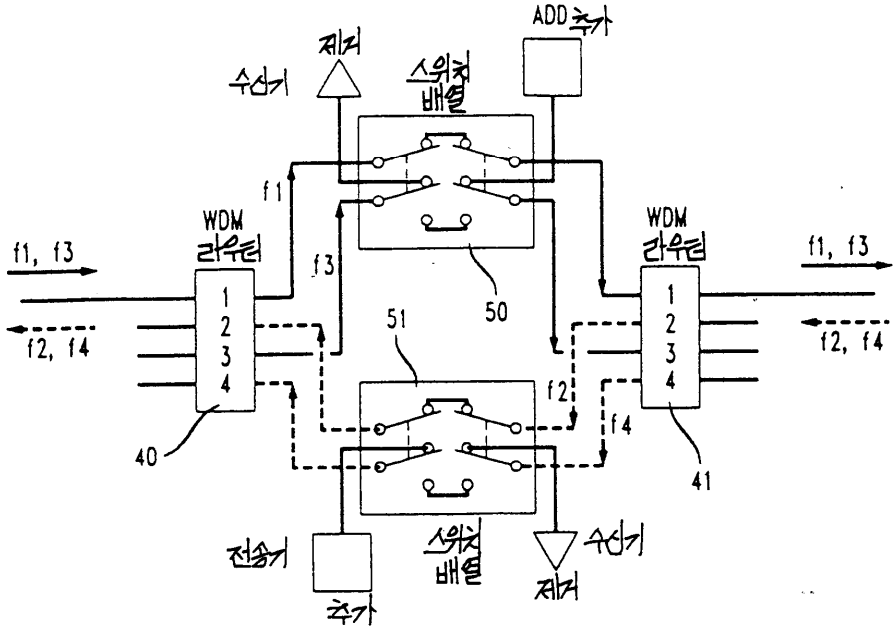
도면3


f4
추가
제거
그레이팅즈
f2, f4
전송기
수신기
f4
f2 f4
f2, f4
f1, f3
p3
p2
p1
38 서큐레이터
p6
p5
p4
서큐레이터 39
f3 f1
f3
f1, f3
p4
p5
p6
p1
p2
p3
f2, f4
f3 수신기
f3
전송기
그레이팅즈
제거
추가
f3

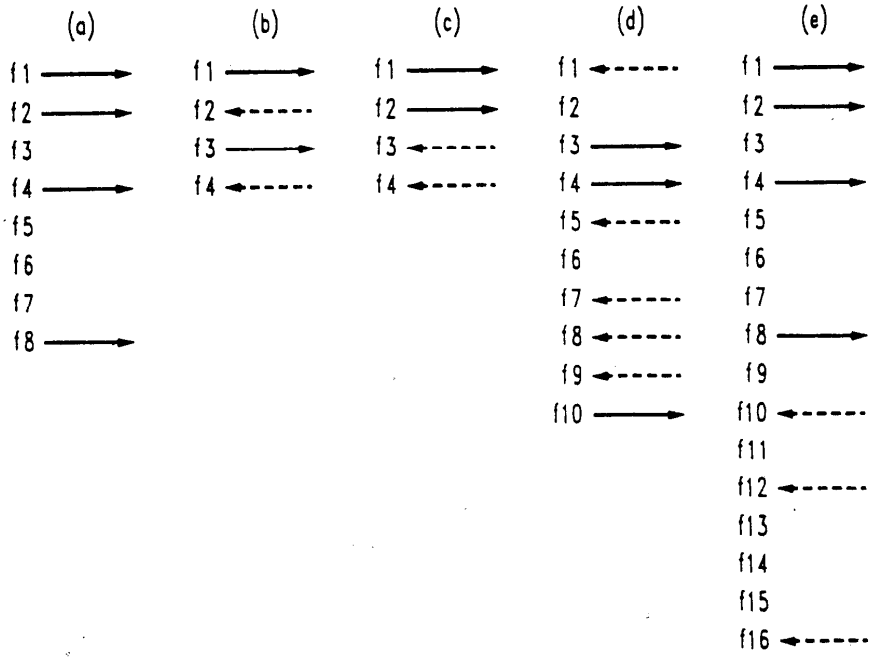
도면4


WDM
라우터
WDM
라우터
f1, f3
f1, f3
f2, f4
f2, f4
1
2
3
4
1
2
3
4
추가
추가
40
41
f4
전송기
f3
전송기
수신기
f3 제거
수신기
f4 제거

도면5

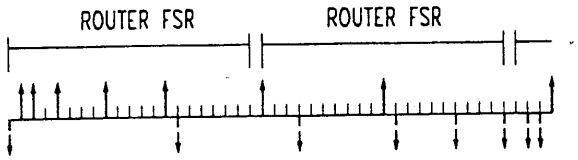

ADD 추가
제거
수신기
스위치
배열
f1
WDM
라우터
WDM
라우터
f1, f3
f1, f3
f3
50
51
f2, f4
f2, f4
1
2
3
4
1
2
3
4
f2
f4
40
41
전송기
추가
스위치
배열
수신기
제거

도면6

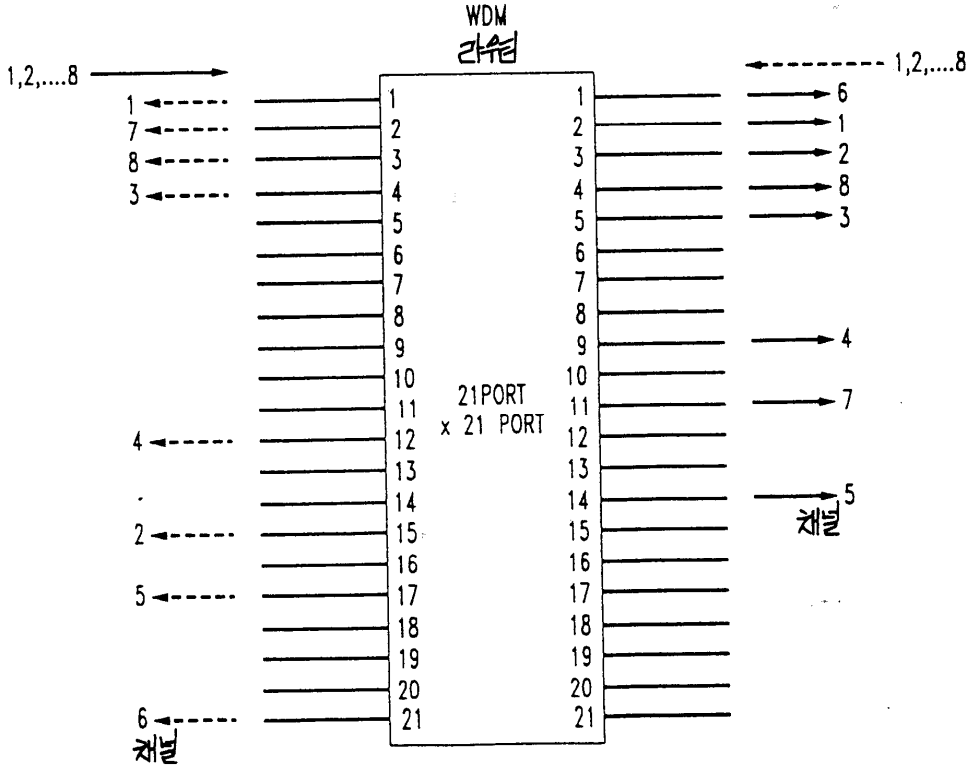


도면7

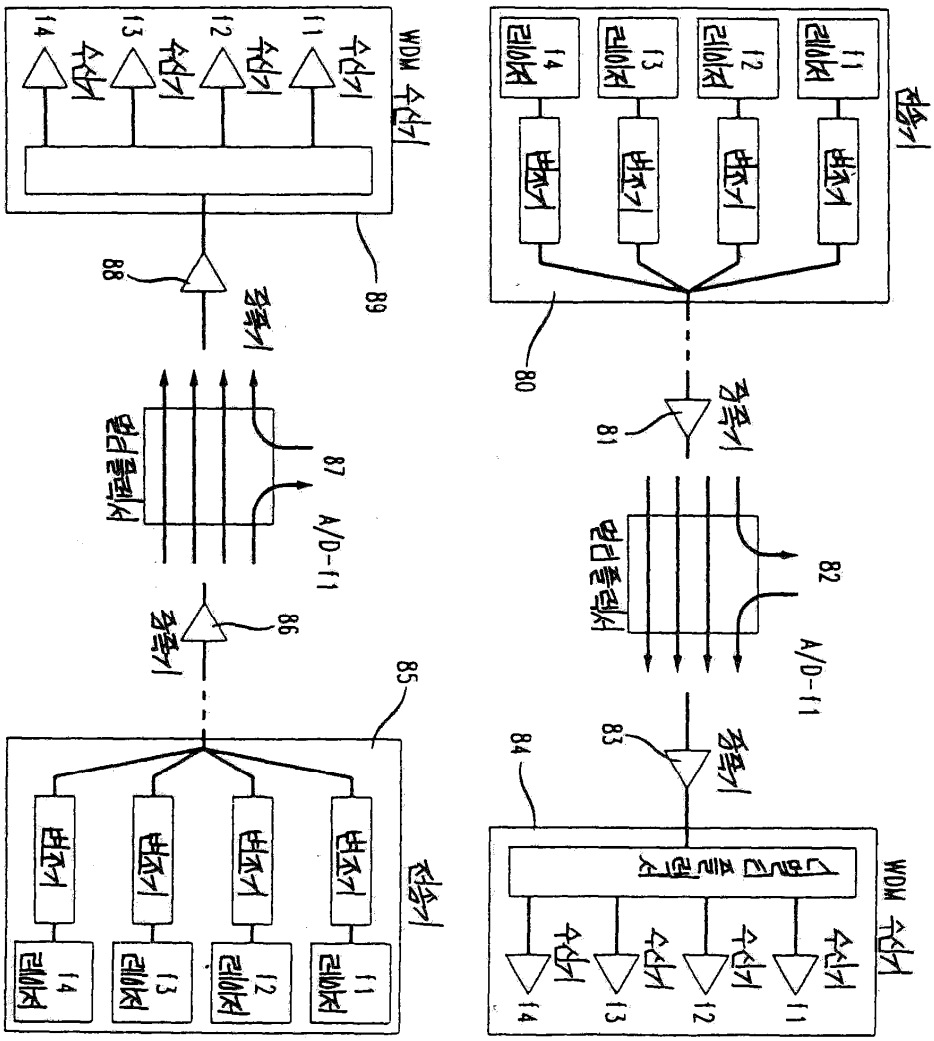
양방향 16채널 인터리빙



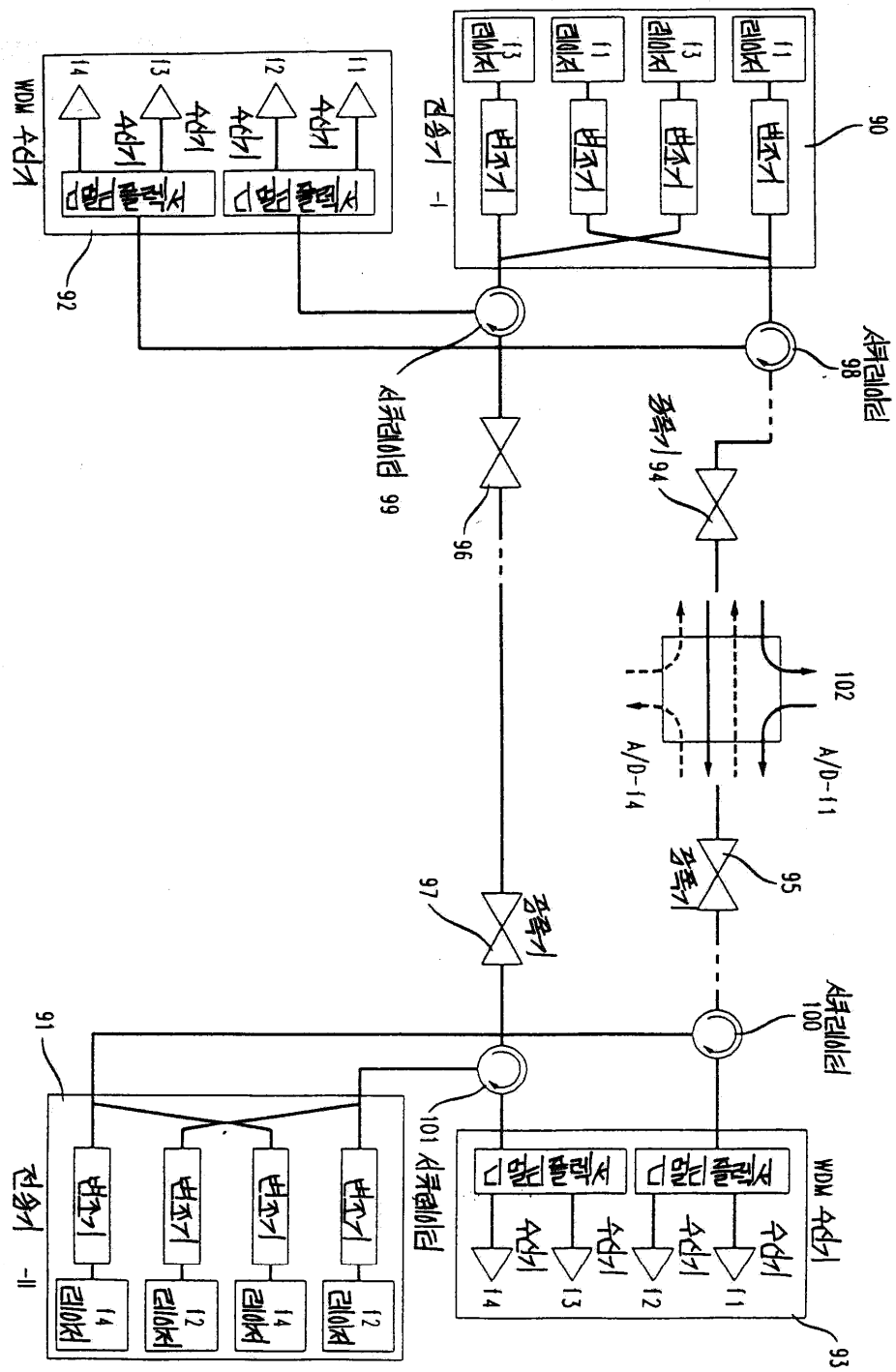
21x21 라우팅 포트 사용



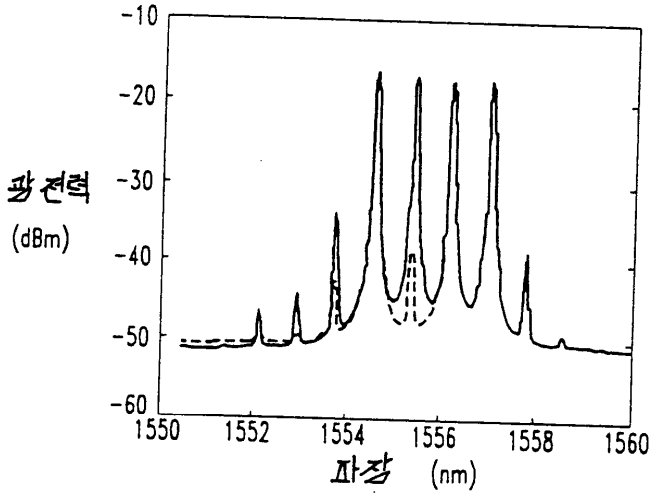
도면8


송신기
레이저 11
레이저 12
레이저 13
레이저 14
변조기
80
결합기 81
멀티플렉서 82
A/D-11
결합기 83
84
WDM 수신기
수신기 11
수신기 12
수신기 13
수신기 14
85
결합기 86
멀티플렉서 87
A/D-11
결합기 88
89
WDM 수신기
수신기 11
수신기 12
수신기 13
수신기 14
송신기
변조기
레이저 11
레이저 12
레이저 13
레이저 14

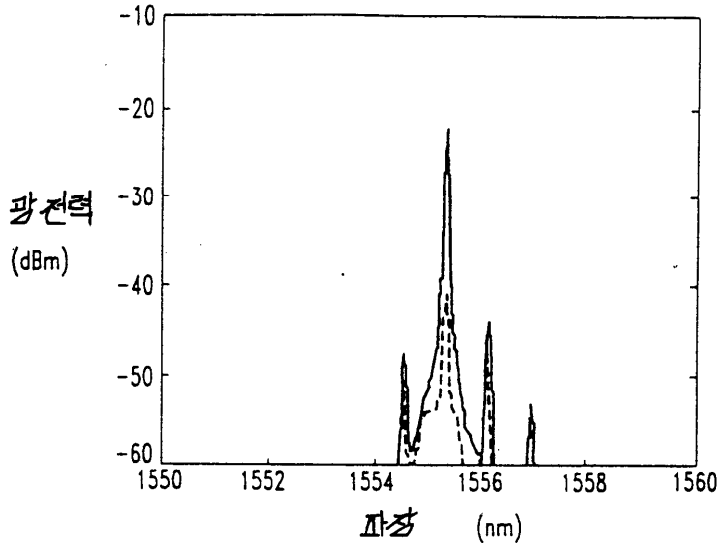
도면9


전송기 -I
전송기 -II
WDM 수신기
멀티플렉서
수신기
레이저
변조기
서큘레이터
증폭기
A/D-11
A/D-14
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102

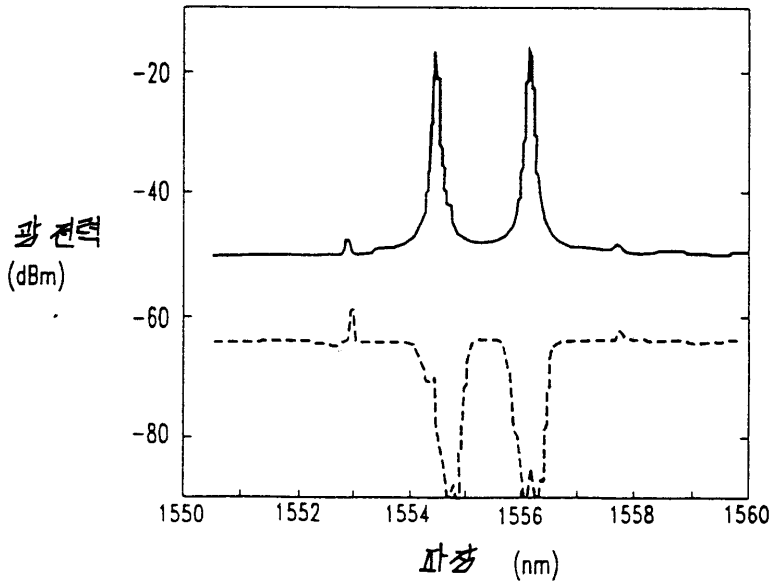
도면10



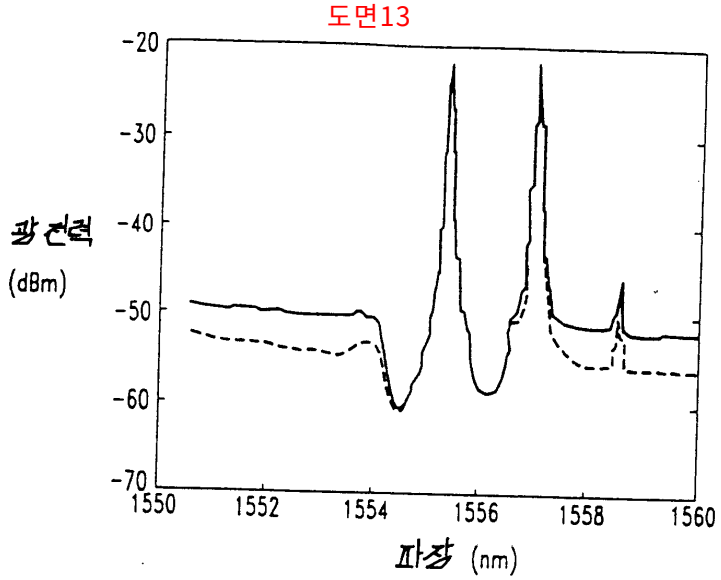
도면11



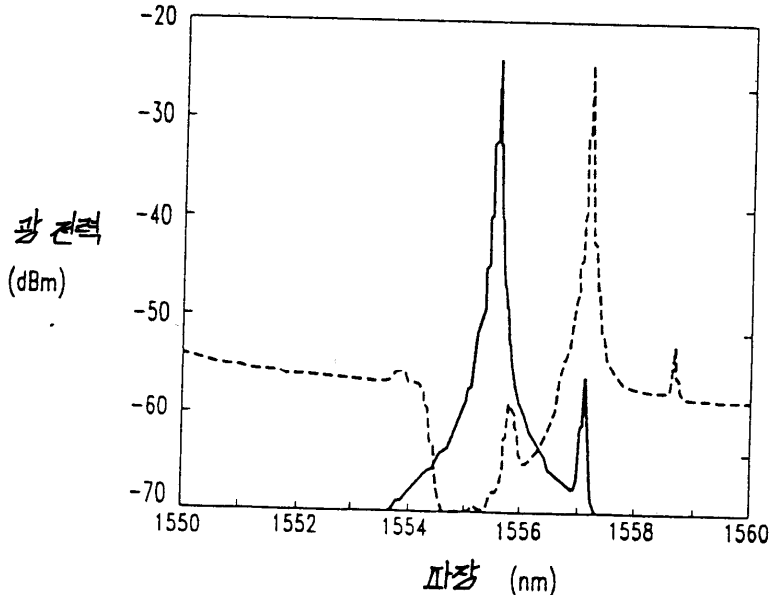
도면12



도면13


-20
-30
-40
-50
-60
-70
광 전력
(dBm)
1550
1552
1554
1556
1558
1560
파장 (nm)

도면14


-20
-30
-40
-50
-60
-70
광 전력
(dBm)
1550
1552
1554
1556
1558
1560
파장 (nm)