



(19)대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(51) 。 Int. Cl.	(45) 공고일자	2006년11월29일
G02B 6/02 (2006.01)	(11) 등록번호	10-0652327
	(24) 등록일자	2006년11월23일

(21) 출원번호	10-2001-7013920	(65) 공개번호	10-2002-0012557
(22) 출원일자	2001년10월30일	(43) 공개일자	2002년02월16일
심사청구일자	2005년04월18일		
번역문 제출일자	2001년10월30일		
(86) 국제출원번호	PCT/US2000/011015	(87) 국제공개번호	WO 2000/67053
국제출원일자	2000년04월24일	국제공개일자	2000년11월09일

(81) 지정국

국내특허 : 아랍에미리트, 알바니아, 아르메니아, 오스트리아, 오스트레일리아, 아제르바이잔, 보스니아 헤르체고비나, 바베이도스, 불가리아, 브라질, 벨라루스, 캐나다, 스위스, 중국, 쿠바, 체코, 독일, 덴마크, 에스토니아, 스페인, 핀란드, 영국, 그라나다, 그루지야, 가나, 감비아, 크로아티아, 헝가리, 인도네시아, 이스라엘, 인도, 아이슬란드, 일본, 케냐, 키르기즈스탄, 북한, 대한민국, 카자흐스탄, 세인트루시아, 스리랑카, 리베이라, 레소토, 리투아니아, 룩셈부르크, 라트비아, 몰도바, 마다가스카르, 마케도니아공화국, 몽고, 말라위, 멕시코, 노르웨이, 뉴질랜드, 폴란드, 포르투갈, 루마니아, 러시아, 수단, 스웨덴, 싱가포르, 슬로베니아, 슬로바키아, 시에라리온, 타지키스탄, 투르크멘, 터키, 트리니다드토바고, 우크라이나, 우간다, 우즈베키스탄, 베트남, 세르비아 엔 몬테네그로, 남아프리카, 짐바브웨,

EP 유럽특허 : 오스트리아, 벨기에, 스위스, 사이프러스, 독일, 덴마크, 스페인, 핀란드, 프랑스, 영국, 그리스, 아일랜드, 이탈리아, 룩셈부르크, 모나코, 네덜란드, 포르투갈, 스웨덴,

(30) 우선권주장 60/131,879 1999년04월30일 미국(US)

(73) 특허권자 코닝 인코포레이티드  
미국 뉴욕 (우편번호 14831) 코닝 원 리버프론트 플라자

(72) 발명자 버키,조지,이.  
미국,14871뉴욕,파인시티,라일리힐로드11551

지앙,레이  
미국,14870뉴욕,페인티드포스트,럼버트레인6

파워즈,데일,알.  
미국,14870뉴욕,페인티드포스트,웨스턴레인112

스리칸트,브이.  
미국,14850뉴욕,이타카,켄들위크아파트먼트포씨투

(74) 대리인 청운특허법인

심사관 : 윤난영

전체 청구항 수 : 총 8 항

## (54) 분산 보상 섬유

### (57) 요약

굴절율  $n_{CL}$ 의 클래딩 층으로 둘러싸인 코어를 포함하는 분산 보상 광섬유가 개시된다. 코어는 적어도 세 개의 방사상으로 인접하는 영역인 중심 코어 영역,  $\Delta_M \leq -0.4\%$ 가 되도록  $n_{CL}$ 보다 충분히 낮은 굴절율  $n_M$ 를 갖는 모트 영역, 및 링 영역을 포함한다. 링 영역이 모트 영역의 외부 에지로부터 충분히 긴 거리에서 충분히 높은 굴절율을 나타냄으로써, 섬유는 낮은 네거티브 분산에서 낮은 네거티브 분산 경사의 값을 나타내고, 양호한 밴딩 손실을 나타낼 수 있다. 링 영역은 또한 섬유에 상대적으로 높은 컷오프 파장을 줌으로써, 본 발명은 특히 L-밴드 시스템에 사용하기 적절하다. 특히 적절한 섬유는 링 영역의 일부에 모트 및 링 영역 사이의 전이부에서 그 델타값이 제로에 근접하도록 하는 굴절율을 갖는 굴절율 프로파일을 갖는다. 또한, 본 발명의 섬유를 제조하기 위한 방법이 개시되어 있다.

### 대표도

도 2

## 특허청구의 범위

### 청구항 1.

굴절율  $n_{CL}$ 을 갖는 투명 물질의 클래딩 층으로 둘러싸인 투명 물질의 코어를 포함하되, 상기 코어는 방사상으로 인접하는 세 개의 영역을 포함하며, 반경의 증가 순서에 따라,

(a)  $\Delta_C$ 가 +1.2% 이상이 되도록 최대 굴절율  $n_C$ 를 갖는 중심 코어 영역,

(b)  $\Delta_M \leq -0.4\%$ 가 되도록 최소 굴절율  $n_M$ 를 갖는 모트 영역, 및

(c)  $\Delta_R \geq +0.15\%$ 가 되도록 굴절율이 적어도  $n_R$ 의 굴절율까지 반경의 증가에 따라 증가하는 세그먼트를 포함하는 링 영역이며, 상기 세그먼트는 상기 모트 영역을 너머 적어도  $0.3 \mu m$ 의 반경에 위치하고, 상기 섬유의 굴절율 프로파일은 상기 섬유의 분산 경사가 약  $1550 \text{ nm}$ 의 파장에서  $-0.15 \text{ ps/nm}^2 \cdot \text{km}$ 보다 큰 네거티브이며, 여기에서  $\Delta_C$ 는  $(n_C^2 - n_{CL}^2)/2n_C^2$ 이고,  $\Delta_M$ 는  $(n_M^2 - n_{CL}^2)/2n_M^2$ 이며,  $\Delta_R$ 는  $(n_R^2 - n_{CL}^2)/2n_R^2$ 인 것을 특징으로 하는 분산 보상 광섬유.

### 청구항 2.

제1항에 있어서, 상기 링 영역은  $n_{CL}$ 보다 큰 각각 최대 굴절율  $n_{R1}$  및  $n_{R2}$ 를 갖는 내부 및 외부 부분을 포함하되,  $\Delta_{R1} < \Delta_{R2}$ 이며,  $\Delta_C$ 는  $(n_C^2 - n_{CL}^2)/2n_C^2$ 이고,  $\Delta_{R1}$ 는  $(n_{R1}^2 - n_{CL}^2)/2n_{R1}^2$ 이며,  $\Delta_{R2}$ 는  $(n_{R2}^2 - n_{CL}^2)/2n_{R2}^2$ 인 것을 특징으로 하는 분산 보상 광섬유.

### 청구항 3.

제2항에 있어서, 상기 내부 및 외부 링 영역은  $n_{R1}$  및  $n_{R2}$ 보다 작은 굴절율  $n_S$ 를 갖는 인터-링 영역에 의해 분리되는 것을 특징으로 하는 분산 보상 광섬유.

**청구항 4.**

제2항에 있어서, 상기 내부 링 부분은 상기 외부 링 부분에 바로 인접하여 위치되는 것을 특징으로 하는 분산 보상 광섬유.

**청구항 5.**

제2항에 있어서, 상기 링 영역의 외부 부분은  $\Delta R2 \geq +0.15\%$ 가 되도록 최대 굴절율  $n2$ 를 갖는 피크를 포함하고, 상기 피크의 최대 굴절율은 모트 영역의 외부 에지로부터  $0.3 \mu\text{m}$  및  $3 \mu\text{m}$  사이에 위치되는 것을 특징으로 하는 분산 보상 광섬유.

**청구항 6.**

제5항에 있어서, 상기 피크의 최대 굴절율은 모트 영역의 외부 에지로부터  $1 \mu\text{m}$  및  $2.5 \mu\text{m}$  사이에 위치되는 것을 특징으로 하는 분산 보상 광섬유.

**청구항 7.**

제1항에 있어서, 상기 링 영역의 최대 굴절율은 상기 링 영역의 중심 반경 이외의 반경에서 나타나는 것을 특징으로 하는 분산 보상 광섬유.

**청구항 8.**

제1항에 있어서, 상기 클래딩 층은 실리카로 구성되고, 상기 모트 영역은 굴절율 감소 도펀트로 도핑된 실리카로 형성되는 것을 특징으로 하는 분산 보상 광섬유.

**청구항 9.**

삭제

**청구항 10.**

삭제

**청구항 11.**

삭제

**청구항 12.**

삭제

**청구항 13.**

삭제

**청구항 14.**

삭제

**청구항 15.**

삭제

**청구항 16.**

삭제

청구항 17.

삭제

청구항 18.

삭제

청구항 19.

삭제

청구항 20.

삭제

청구항 21.

삭제

청구항 22.

삭제

청구항 23.

삭제

청구항 24.

삭제

청구항 25.

삭제

청구항 26.

삭제

청구항 27.

삭제

청구항 28.

삭제

청구항 29.

삭제

청구항 30.

삭제

청구항 31.

삭제

청구항 32.

삭제

청구항 33.

삭제

명세서

기술분야

본 발명은 파장 분할 멀티플렉싱(WDM) 시스템에서 사용하기에 적당한 분산 보상 광섬유에 관한 것으로, 특히, 1565 nm 이상의 파장에서 작동하는 L-밴드 시스템에 사용하기에 적당한 분산 보상 섬유에 관한 것이다. 또한, 본 발명은 상기와 같은 분산 보상 섬유를 사용하는 분산 보상 링크 및 분산 보상 섬유의 제조 공정에 관한 것이다.

배경기술

최근에 통신 시스템은 1300 nm 근처의 파장에서 제로 분산을 나타내는 단일 모드 광섬유를 포함하며, 이러한 섬유를 이하에서 "SMF 섬유"라고 한다. 1300 nm 근처의 파장에서 시스템 내에 전송된 신호는 상대적으로 왜곡되지 않는다. 신호는 1550 nm 윈도우에서 작동하는 효과적이고 신뢰성 있는 에르븀 섬유 증폭기를 사용하고 낮은 손실을 달성하기 위하여 1550 nm 근처의 파장에서 시스템 상에 전송될 수 있다.

과거 몇 년간 통신 시스템은 2.5 Gbs 신호 채널 시스템으로부터 10 Gbs WDM 시스템으로 업그레이드되어 왔다. 증가된 채널 당 비트율은 이러한 시스템의 분산을 제한하였다. SMF 섬유의 1550 nm에서 전송은 약 + 17 ps/nm · km의 분산을 가져왔고, 따라서, 이러한 섬유는 10 Gbs로 60 km의 중단되지 않는 전송에 제한되었다. 이것에 대한 해법은 규칙적인 간격으로 분산을 보상하는 데 있다. 예를 들면, 1550 nm에서 + 17 ps/nm · km의 분산을 가진 단일 모드 섬유는 매 60 km 당 1020 ps/nm의 분산 보상을 요구한다. 그러므로 DC 섬유를 포함하는 분산 보상(DC) 모듈이 약 1000 ps/nm의 축적 분산 때문에 매 증폭기단에서 시스템으로 삽입되어야 한다. 이러한 DC 섬유의 길이는 실제 전송 거리에 근거가 되지 않으며, 이러한 길이는 가능한 한 짧게 유지하는 것이 바람직하다. 이것은 DC 섬유의 네거티브 분산이 최대가 되어야 한다는 것을 의미한다. 그러나 분산이 도파관에 의해 실행되는 분산의 증가를 통하여 더욱 네거티브가 됨에 따라, 섬유는 밴드 민감성이 더욱 커지고 섬유의 기본 감쇠가 증가한다. 그러므로 가장 큰 값은 감쇠(Attn)를 가능한 한 낮게 유지함과 동시에 분산(D)을 최대화하는 것에 의해 얻어진다. 따라서, 성능 표시로 알려진  $|D/Attn|$ 의 비는 단지 분산만이 있는 것보다도 최대화되어야 한다.

최근까지, 시스템 및 DC 섬유 설계자는 단지 하나의 채널(1550 nm)만을 고려하였다. 즉, DC 섬유는 단지 하나의 파장에서 분산을 보상하는데 사용되고, 따라서, 섬유의 분산 경사는 중요하지 않았다. 그러나 WDM 기술에서 새로이 강조되는 것은 에르븀 섬유 증폭기 윈도우 내의 모든 전송 파장에 걸쳐 분산 보상을 제공하는 것이 필수적이라는 것이다. 이것은 현재 설계자가 최악의 분산을 갖는 채널에 의해 제한받는다라는 것을 의미한다. 상기 문제점에 대한 해법은 분산이 모든 파장에서 동시에 보상되는 DC 섬유를 설계하는 것이다. 따라서, 이를 만족시키기 위하여 부가된 기준, 즉 분산 경사가 있다. 성능 표시는 DC 섬유가 사용되는 모든 파장에 대하여 큰 값을 유지하여야 한다. 밴드-에지(bend-edge)는 보다 긴 파장에서 증가된 감쇠를 일으키므로, 낮은 밴드 에지를 갖는 섬유는 이러한 효과에 의해 실질적으로 영향을 받지 않는 C-밴드 파장(1565 nm까지)에 사용하는 것으로 한정된다.

시스템에서 분산 경사의 효과를 측정하기 위해 시스템이 1550 nm에서 + 17 ps/nm · km 및 + 0.056 ps/nm<sup>2</sup> · km의 분산 경사를 갖는 상기 SMF 섬유를 사용하는 것으로 가정한다. 시스템상에서 5개의 서로 다른 DC 섬유의 효과를 가정한다. 5개의 섬유의 분산 및 분산 경사의 특성은 표 1에 도시되어 있으며, 분산 D는 ps/nm · km의 단위로 표시되고, 분산 경사는 ps/nm<sup>2</sup> · km의 단위로 표시된다.

[표 1]

DC 섬유	D	D 경사	비보상 분산 @1530/1000km	비보상 분산 @1565/1000km	거리(km)@ 10Gbs	거리(km)@ 40Gbs
1	-85	-0.186	-400	300	~1200	~75
2	-102	-0.186	-540	405	~880	~55
3	-85	-0.28	0	0	> 10000	> 1000
4	-102	-0.28	-200	150	~2400	~150
5	-85		-1200	900	~400	~25

-85 ps/nm · km의 분산을 갖는 DC 섬유는 길이 L이 17 ps/nm · km의 분산을 갖는 SMF 섬유의 길이 5L을 보상하고, -102 ps/nm · km의 분산을 갖는 DC 섬유의 길이 L이 상기 SMF 섬유의 길이 6L을 보상하기 때문에, -85 및 -102 ps/nm · km의 분산을 갖는 DC 섬유가 이 이론적인 예로서 선택된다.

SMF 섬유 및 DC 섬유의 특성을 사용함으로써, 모든 DC 섬유가 1550 nm에서 완전한 보상을 위하여 설계된다는 가정하에 에르븀 C 밴드 윈도우의 말단 채널(1530 nm 및 1565 nm)에서 비보상 분산이 계산될 수 있다. 계산된 값은 표 1의 컬럼 4 및 5에 주어지고 있다. 만일, 시스템이 펄스 스펙트럼 폭이 한정된다고 가정하면, 분산, 비트율 및 총 길이의 관계는 하기 수식 1로 주어진다.

### 수학식 1

$$B(\beta_2 L)^{1/2} < 1/4$$

여기에서, B는 비트율이고,  $\beta_2 = (D\lambda^2)/2\pi c$ 이며, L은 길이이다.

수학식 1은 주어진 길이에서 축적된 총 분산 및 비트율로 다시 쓰여질 수 있다. 상기 관계에 기초하여, 주어진 비트율 및 평균 축적 분산에서, 분산이 제한 요소가 되기 전에 시스템의 총 길이를 결정할 수 있으며, 이 길이는 표 1의 컬럼 6 및 7에서 10 및 40 Gbs의 비트율로 주어진다. DC 섬유 1, 2, 3 및 4는 시스템 길이에 관한 다양한 분산 및 분산 경사의 효과를 나타내기 위해 사용된 이론적인 예이다. DC 섬유 5는 단지 하나의 파장, 예를 들면, 1550 nm에서 분산을 보상하는 상용 섬유이다. 분산 경사가 단일 파장에서 작동하도록 DC 섬유에 적용되지 않기 때문에 분산 경사는 DC 섬유 5에 기재되어 있지 않으며, 분산 경사는 시스템 작동에 악영향을 주지 않고 약 -0.5 및 +0.5 ps/nm<sup>2</sup> · km 사이에서 변화할 수 있다. DC 섬유 1, 2, 3 및 4는 시스템에의 사용이 최소 600 km의 거리에 신호를 전송할 수 있다는 점에서 10 Gbs 시스템에 사용하기에 적당하다. 열거된 5개의 섬유 중 단지 DC 섬유 3만이 40 Gbs 시스템에 사용하기에 적당하다.

DC 섬유의  $\kappa$  값은 하기와 같이 정의된다.

### 수학식 2

$$\kappa = (D_{DC})/(D_{기울기 DC})$$

여기에서,  $D_{DC}$  및  $D_{경사 DC}$ 는 DC 섬유의 분산 및 분산 경사이다. 상대 분산 경사(RDS),  $\kappa$ 의 역은 때때로 분산 및 분산 경사의 비를 특성화하는데 사용된다. SMF 섬유의 분산 대 분산 경사의 비는 약 303이다. DC 섬유 3은 그 DC 섬유의 분산 및 분산 경사가 모든 파장에 걸쳐 완전한 보상을 필수적으로 달성하므로 유일하다. 바꾸어 말하면, DC 섬유 3의  $\kappa$ 값 또한 303이다. 이러한 기준은 전체 보상으로서 정의된다. 도 2의 라인 20은 전체 보상의 라인으로서 언급되며, 그 경사는 303이다. DC 섬유 3은 분산이 -85 ps/nm · km이고, 분산 경사가 -0.28 ps/nm<sup>2</sup> · km인 라인 상의 점에 의해 표시된다. 분산이 -102 ps/nm · km이고, 분산 경사가 -0.036 ps/nm<sup>2</sup> · km을 갖는 것과 같이, 라인 20에서 떨어지는 다른 섬유는 전체 보상을 줄 수 있다.

비록 DC 섬유 3이 10 Gbs에 대하여 DC 섬유 1, 2 및 4보다 우수하다 할지라도, 값이 부가되지 않고, 지상의 시스템이 약 600 km의 최대 거리로 주로 설계된다. 따라서, 완전한 보상을 제공하지 않는 DC 섬유는 DC 모듈에 사용하기 적절하고, 만일, 이러한 DC 섬유가 완전한 보상을 제공하는 것보다 더 쉽게 제조된다면, 그것이 더 바람직하다. DC 섬유 1, 2 및 4는 각각 457, 548 및 380의  $\kappa$ 값을 갖는다. 이것의  $\kappa$ 값은 개선된 분산 특성 및 보다 긴 전송 거리에 대응하여 303에 근접하는 값이 되는 DC 섬유 1, 2 및 4보다 낮아진다. DC 섬유 4 및 1은 각각 라인 21 및 22에 의하여 표시되는 도 2의 제시에서 임의적으로 선택된다. 라인 21 및 22 사이의 음영영역(23)은 허용되는 분산 및 분산 경사를 제공하는 DC 섬유의 하나의 그룹을 나타내고, 더욱이, 이들은 100 km 이상의 10 Gbs WDM 시스템에서 사용될 수 있다. 라인 20 및 21 사이의 분산 특성을 갖는 DC 섬유 및 라인 20 및 그 근처로 떨어지는 특성을 갖는 것조차도 DC 모듈에 사용하는데 적절하나, 10 Gbs 시스템에서 낮은  $\kappa$ 값을 갖는 섬유를 사용하는 것이 필수적이지 않다.

라인 20과 동일한 또는 매우 근접한 분산 특성을 갖는 DC 섬유만이 40 Gbs 시스템에 사용하는데 적절하다.

최근에 개발된 에르븀 섬유 증폭기는 1565 nm의 한도보다 긴 파장을 포함하는 L-밴드에서 작동할 것이다. 최근에 사용되는 DC 섬유는 허용되는 분산 특성을 제공하나 그들의 밴드-에지 파장은 그 손실이 1565 nm보다 긴 파장에서 허용되지 않도록 충분히 낮기 때문에 그러한 긴 파장에 사용하는데 적절하지 않다. 밴드-에지는 컷오프 파장( $\lambda_{CO}$ )가 감소되고, 모드 필드 직경(MFD)이 증가함에 따라 보다 짧은 파장으로 이동된다. 다른 경우에 있어서, 광은 매우 약하게 안내된다. 그러므로 밴드-에지를 보다 높은 파장으로 올리기 위하여,  $\lambda_{CO}$ 는 증가되어야 하고, 및/또는 MFD는 감소되어야 한다.

만일, MFD가 너무 작으면, 교차 위상 변조 및 자기 위상 변조와 같은 비선형 효과가 증가하고 접속 손실이 증가한다. 그러므로 MFD는 4  $\mu\text{m}$  이상 바람직하게는 4.5  $\mu\text{m}$ 이 되어야 한다.

네거티브 분산 및 네거티브 분산 경사의 바람직한 낮은 값을 제공하기 위하여, 우선 DC 섬유 설계는 1000 nm 이하의 컷오프 파장, 어느 경우에는 800 nm 이하의 주파수를 갖도록 한다. 밴드-에지 파장이 바람직한 분산 특성을 나타내는 DC 섬유에 1565 nm 초과하도록 하기 위하여, 컷오프 파장은 1000 nm 이상이 되어야 하며, 1300 nm 이상이 되는 것이 바람직하다. 현재의 DC 섬유 설계에서, 분산 경사가  $-0.2 \text{ ps/nm}^2 \cdot \text{km}$  이상을 나타내도록 섬유에 1000 nm 이상의 컷오프 파장을 갖게 하는 것은 매우 어렵다. 컷오프 파장은 작동 파장보다 충분히 짧고, 감쇠의 증가를 피하기 위해 바람직하게는 약 40 nm - 50nm보다 짧다. 에르븀 증폭기 밴드의 시스템 작동을 위하여,  $\lambda_{CO}$ 는 약 1500 nm보다 짧다.

#### 종래의 분산 보상 섬유 디자인

1300 nm의 제로 D 섬유 상의 1550 nm에서 전송에 의해 축적된 큰 포지티브 분산이 원거리의 신호 전송을 위하여 허용되지 않음에 따라, 분산 보상 광섬유는 1550 nm 시스템에서 사용되어 왔다. 상기 분산 보상 섬유는 큰 네거티브 분산을 나타내며, 또한 네거티브 분산 경사를 나타낼 수 있다. 도 1a 및 1b는 적절한 분산 값( $D \leq -80 \text{ ps/nm} \cdot \text{km}$ ) 및 분산 경사( $D' \leq -0.15 \text{ ps/nm}^2 \cdot \text{km}$ )를 제공하고 1565 nm까지의 파장에서 작동하는 C-밴드 시스템에 적절한 밴드-에지 파장을 나타내는 DC 섬유가 미리 사용된 두 가지 형태의 굴절률 프로파일을 나타낸다. 더욱 더 큰 분산 및 분산 경사 값은 이러한 섬유에 달성될 수 있으나, 밴딩 손실(bending loss)과 같은 다른 특성이 악영향을 끼친다.

도 1의 W-형태의 3층 굴절률 프로파일은 중심 코어(1), 제2 코어층 또는 모트(moat)(2) 및 클래딩(3)을 포함한다. 도 1a에 의해 표시된 형태의 섬유는 미국특허 제5,361,319호에 개시되어 있다. 코어(1) 및 모트(2)의 직경은 각각 a 및 b이다. 클래딩(3)에 대한 코어(1) 및 모트(2)의 규준화된 굴절률은 각각  $\Delta_+$  및  $\Delta_-$  이다. 굴절률  $n_X$ 를 갖는 코어층의  $\Delta$ 는  $(n_X^2 - n_{CL}^2)/2n_X^2$ 로 주어지고, 여기에서,  $n_{CL}$ 은 클래딩의 굴절률이다. 이미 언급된 코어 특성뿐만 아니라 a/b 비는 네거티브 분산 경사에 동반되는 큰 네거티브 분산값을 달성하도록 최적화될 수 있다. 네거티브 분산 및 네거티브 분산 경사를 최적화하는 디자인은 밴딩 손실, 광 전파 문제 등과 같은 것으로 나뉠 수 있다. 이러한 W-형태 섬유의 컷오프 파장은 1000 nm 이하이고, 밴드-에지 파장은 1700 nm 이하이다.

도 1b는 부가적인 코어 특성을 포함하는 DC 섬유의 또 다른 형태, 즉, 광 전파 특성을 변조하기 위해 모트에 바로 인접하는 포지티브 델타 링의 굴절률 프로파일을 나타낸다. 코어의 모트 영역에 인접하는 링을 포함하는 섬유가 또한 미국특허 제5,361,319호에 기재되어 있다.

도 1b의 섬유는 링(13)에 의해 차례로 둘러싸인 모트 영역(12)에 의해 둘러싸인 중심 코어(11)를 포함한다. 클래딩(3)에 대하여 중심 코어(11), 모트(12) 및 링(13)의 규준화된 굴절률은 각각  $\Delta_C$ ,  $\Delta_M$  및  $\Delta_R$ 이고, 여기에서,  $\Delta_C$ 는  $(n_C^2 - n_{CL}^2)/2n_C^2$ 이고,  $\Delta_M$ 는  $-(n_M^2 - n_{CL}^2)/2n_M^2$ 이며,  $\Delta_R$ 은  $(n_R^2 - n_{CL}^2)/2n_R^2$ 이며,  $n_C$ ,  $n_R$  및  $n_{CL}$ 은 각각 중심 코어, 링, 및 클래딩의 피크 굴절률이며,  $n_M$ 은 모트의 최소 굴절률이다. 중심 코어(11), 모트(12) 및 링(13)의 외부 직경은 각각  $r_C$ ,  $r_M$  및  $r_R$ 이다.

도 2의 곡선 24는 도 1b의 섬유 프로파일에 대한 분산 대 분산 경사의 그래프이다.  $-80 \text{ ps/nm} \cdot \text{km}$ 의 네거티브 분산에 대한 섬유 특성은  $\Delta_C = \sim 1.9\%$ ,  $\Delta_M = -0.52\%$ ,  $\Delta_R = 0.25\%$ ,  $r_C = 1.65 \mu\text{m}$ ,  $r_M = 3.6 \mu\text{m}$ , 및  $r_R = 3.95 \mu\text{m}$ 이다. 그래프에서 각 데이터 포인트는 도 1b의 프로파일의 주어진 코어 반경에 대한 광 특성을 나타낸다. 서로 다른 외부 직경, 따라서 서로 다른 코어 반경을 갖는 섬유가 인발되고, 굴절률 프로파일은 측정되며 섬유 분산 특성을 발생시키는 컴퓨터 모델로 입력된다. 서로 다른 코어 직경은 다수의 동일한 DC 섬유 코어 예형을 초기에 형성함으로써 주어지는 프로파일에 대하여 얻어지고, 각



예형은 서로 다른 오버클래드 두께로 제공된다. 결과적인 인발 블랭크가 미리 결정된 외부 직경으로 인발될 때, 코어 반경은 서로 다르다. 곡선의 우측 끝에 있는 데이터 포인트(분산이 약  $-42 \text{ ps/nm} \cdot \text{km}$ )는 가장 큰 직경을 나타내며, 코어 직경은 분산이 더욱 네거티브가 되는 좌측에 위치한 데이터 포인트에서 감소한다. 약  $-85 \text{ ps/nm} \cdot \text{km}$ 의 분산을 갖는 곡선 24 형태의 섬유가 더욱 큰 네거티브 분산을 나타내는 섬유보다 작은 밴드 민감성을 가지므로 이를 사용하는 것이 바람직하다.

상술한 바와 같이, 600 km 10 Gbs C-밴드 시스템은 전체 보상 솔루션(도 2의 라인 20으로 표시됨)이 필요하지 않다. 도 2의 음영 영역(23) 내에 적절한 솔루션은 오차의 한도를 제공하는 10 Gbs이 요구를 만족시킨다. 최근의 이용가능한 DC 섬유는 이러한 요구를 만족시킨다. 더욱이, 최근의 이용가능한 DC 섬유는 도 2의 라인 20에 또는 그 근처에 적합한 특성을 가지며, 이로 인해 1560 nm 이하의 파장에서 작동하는 40 Gbs C-밴드 시스템에서 사용하기에 적합하다.

민감성 분석 및 광 스페이스 매핑이 섬유 특성을 개선시키기 위한 바람직한 분산 특성을 제공하기 위해 도 1b에 도시된 DC 프로파일에 수행되었다. 이러한 분석의 필수적인 결과는 유일하게 주어진다. 이러한 분석 프로파일의  $k$ 값이 303 이상이 되므로,  $k$ 의 감소는 분산 특성을 향상시키는 것을 나타낸다.

본 발명의 DC 섬유는 10 또는 그 이상의 Gbs로 작동하는 WDM 시스템에서, 바람직하게는 L-밴드에서 작동할 수 있도록 분산을 보상하는데 요구되는 필수적인 네거티브 분산 및 네거티브 분산 경사를 제공한다.

### 발명의 상세한 설명

본 발명은 컷오프 파장이 바람직한 분산 및 분산 경사값을 유지하면서 L-밴드에서 섬유에 사용할 수 있기에 충분히 길도록 하는 프로파일을 갖는 분산 보상 광섬유에 관한 것이다. 또한, 본 발명은 적어도 10 Gbs의 비트율로 작동하는 WDM 시스템에 기초하여 SMF에 사용하기 적절한 네거티브 분산 및 분산 경사를 갖는 분산 보상 섬유에 관한 것이다. 또한, 본 발명은 네거티브 분산 및 네거티브 분산 경사 양자가 큰 값을 나타내고 밴드 민감성에 의해 방해되지 않는 분산 보상 광섬유에 관한 것이다. 또한, 본 발명은 1520 nm 이상의 파장, 바람직하게는 1570 nm 이상의 파장에서 적어도 10 Gbs의 비트율로 작동하는 WDM 시스템에서 사용하기 적절한 네거티브 분산 및 분산 경사를 갖는 분산 보상 광섬유의 보다 짧은 길이를 연결하여 1290-1330 nm에서 낮은 분산 작동을 위해 최적화된 단일 모드 광섬유의 적어도 40 km를 포함하는 광 전송 시스템에 관한 것이다. 또한, 본 발명은 이미 확산된 도펀트를 함유하는 영역이 도프되지 않은 영역에 매우 근접하게 위치되도록 분산 보상 섬유를 제조하는 방법에 관한 것이다.

본 발명의 일 실시예는 굴절율  $n_{CL}$ 의 투명 물질의 클래딩 층으로 둘러싸인 투명 물질의 분산 보상 광섬유 코어에 관한 것이다.  $\Delta_C$ 가  $\Delta_M \leq -0.4\%$ 가 되도록 최소 굴절율  $n_M$ 을 갖는 모트 영역에 의해 둘러싸인  $+1.2\%$  이상이 되도록 코어는 최대 굴절율  $n_C$ 를 갖는 중심 코어 영역을 포함하며, 모트 영역은  $\Delta_R \geq +0.15\%$ 가 되도록 굴절율이 반경이 증가함에 따라 적어도  $n_R$ 의 굴절율까지 증가하는 세그먼트를 포함하는 링 영역에 의해 둘러싸인다. 세그먼트는 모트 영역을 넘어 적어도  $0.3 \mu\text{m}$ 의 반경에 위치한다. 섬유의 굴절율은 섬유의 분산 경사가 약 1550 nm의 파장에서  $-0.15 \text{ ps/nm}^2 \cdot \text{km}$  이상의 네거티브가 되도록 한다. 섬유의 분산 경사는 약 1550 nm의 파장에서  $-0.2 \text{ ps/nm}^2 \cdot \text{km}$  이상의 네거티브가 되는 것이 바람직하며, 그 파장에서 분산은  $-80 \text{ ps/nm} \cdot \text{km}$  이상의 네거티브가 되는 것이 바람직하다.

링 영역은  $n_{CL}$ 보다 큰 각각 최대 굴절율  $n_{R1}$  및  $n_{R2}$ 을 갖는 내부 및 외부 부분을 포함할 수 있다. 내부 및 외부 링 부분은  $n_{R1}$  및  $n_{R2}$ 보다 작은 굴절율  $n_S$ 를 갖는 인터-링 영역에 의해 분리될 수 있고, 또는 내부 링 부분은 외부 링 부분에 아주 인접하여 위치될 수 있다. 굴절율 프로파일은  $\Delta_{R1}$ 이 제로와 동일하거나 제로보다 크거나 또는 작게 될 수 있다.

링 영역의 외부 부분은  $\Delta_{R2} \geq +0.15\%$ 가 되도록 최대 굴절율  $n_2$ 를 갖는 피크를 포함할 수 있다. 피크의 최대 굴절율은 모트 영역의 외부 에지로부터  $0.3 \mu\text{m}$  및  $3 \mu\text{m}$  사이에 위치될 수 있고 바람직하게는 모트 영역의 외부 에지로부터  $1 \mu\text{m}$  및  $2.5 \mu\text{m}$  사이에 위치한다.

섬유의 클래딩 층은 굴절율 증가 도펀트로 도프된 실리카로 구성될 수 있고, 모트 영역은 불소와 같은 굴절율 감소 도펀트로 도프된 실리카로 형성될 수 있으나, 이에 한정되지 않는다.

또 다른 실시예에 따르면, 분산 보상 광섬유는 굴절율  $n_{CL}$ 을 갖는 투명 물질의 클래딩 층으로 둘러싸인 투명 물질의 코어를 포함한다. 코어는 반경의 증가 순서에 따라 다음과 같이 명명된 세 개의 인접하는 영역을 포함한다: (a) 최대 굴절율  $n_C$



를 갖는 중심 코어 영역 (b) 최소 굴절율  $n_M$ 를 갖는 모트 영역 및 (c) 최대 굴절율  $n_{R1}$  및  $n_{R2}$ 를 갖는 구별되는 내부 및 내부 영역을 포함하는 링 영역, 여기에서,  $n_C \geq n_{R1} \geq n_{CL} \geq n_M$  및  $n_C \geq n_{R2} \geq n_{CL} \geq n_M$ 이다. 섬유의 방사상의 굴절율 그래프는 링 영역의 외부 하프 내의 면적이 링 영역의 내부 하프 내의 면적보다 크도록 특성화된다. 섬유의 중심 코어 영역은  $\Delta_C$ 가 +1.2% 이상이 되도록 최대 굴절율  $n_C$ 를 갖는 것이 바람직하고, 모트 영역은  $\Delta_M \leq -0.4\%$ 가 되도록 하는 최소 굴절율을 갖는 것이 바람직하다.

본 발명의 또 다른 실시예는 굴절율  $n_{CL}$ 을 갖는 투명 물질 클래딩 층으로 둘러싸인 투명 물질의 코어를 포함하는 분산 보상 광섬유에 관한 것이다. 코어는  $\Delta_M \leq -0.4\%$ 가 되도록 최소 굴절율  $n_M$ 을 갖는 모트 영역으로 둘러싸인  $\Delta_C$ 가 +1.2% 이상이 되도록 하는 최대 굴절율  $n_C$ 를 갖는 중심 코어 영역을 포함한다. 모트 영역은 최대 굴절율이  $n_{CL}$ 보다 작은 각각  $n_{R1}$  및  $n_{R2}$ 를 갖는 구별되는 내부 및 외부 부분을 포함하는 링 영역으로 둘러싸이고, 이로 인하여  $\Delta_{R1}$  및  $\Delta_{R2}$ 는 포지티브가 된다. 섬유의 굴절율 프로파일은 컷오프 파장이 1000 nm 이상이 되고 분산 경사가 약 1550 nm의 파장에서  $-0.2 \text{ ps/nm}^2 \cdot \text{km}$  이상의 네거티브가 된다.

또 다른 실시예는 1290 nm 및 1330 nm 사이의 범위의 파장에서 저분산 작동에 최적화된 표준 단일 모드 전송 섬유의 최소 40 km의 연속 조합을 포함하는 분산 보상된 광 전송 링크 및 굴절율  $n_{CL}$ 을 갖는 투명 물질의 클래딩 층에 의해 둘러싸인 투명 물질의 코어를 포함하는 분산 보상 광섬유에 관한 것이다. 코어는  $\Delta_M \leq -0.4\%$ 가 되도록 최소 굴절율  $n_M$ 을 갖는 모트 영역으로 둘러싸인  $\Delta_C$ 가 +1.2% 이상이 되도록 최대 굴절율  $n_C$ 를 갖는 중심 코어 영역을 포함한다. 모트 영역은 굴절율이  $\Delta_R \geq +0.15\%$ 가 되도록 반경이 증가함에 따라 적어도  $n_R$ 의 굴절율까지 증가하는 세그먼트를 포함하는 링 영역으로 둘러싸인다. 세그먼트는 모트 영역을 너머 최소  $0.3 \mu\text{m}$ 인 반경에 위치한다. 섬유의 굴절율 프로파일은 섬유의 분산 경사가 약 1550 nm의 파장에서  $-0.15 \text{ ps/nm}^2 \cdot \text{km}$  이상의 네거티브가 되도록 하고, 이로 인하여 시스템은 1520 nm의 파장에서 적어도 10 Gbs의 비트율로 작동할 수 있다.

본 발명은 또한 광 디바이스를 형성하는 방법에 관한 것이다. 기초 유리 입자의 제1 코팅이 맨드릴 상에서 침적되고, 유리 입자의 제2 코팅은 제1 코팅의 외부 표면에 침적되며, 제2 코팅은 기초 유리 및 적어도 하나의 도펀트로 형성된다. 맨드릴은 결과적인 다공성 유리 예형으로부터 제거되어 예형을 관통하는 수직 어퍼취를 형성한다. 다공성 예형은 적어도 하나의 도펀트가 실질적으로 없는 내부 영역을 갖는 고체 유리 튜브를 형성하도록 건조되고 소결된다. 제1 코팅을 침적하는 단계는 기초 유리 입자의 제1층을 제1 밀도로 맨드릴 상에 침적시키는 단계, 전이층의 밀도가 제1층에서의 제1 밀도로부터 전이층의 외부 표면에서의 제2 밀도로 변화하도록 제1층 상에 기초 유리 입자의 전이층을 침적시키는 단계, 제2 밀도는 제1 밀도보다 적어도 30% 적음; 및 기초 유리 입자의 제3층을 제2 밀도로 전이층 상에 침적시키는 단계를 포함한다.

제1 코팅을 침적시키는 단계는 화염 내에서 기초 유리 입자의 스트림을 발생시키도록 버너에 제1 반응물을 제1 속도로 주입하는 단계를 포함할 수 있다. 스트림은 맨드릴 상으로 보내져 제1층을 형성시킨다. 제1 반응물의 흐름 속도는 제1 흐름 속도로부터 제2 흐름 속도로 점차로 증가하여 전이층을 형성한다. 제1 반응물은 제2 속도로 버너에 주입되어 제3층을 형성한다. 제1 흐름 속도는 제2 흐름 속도의 70%보다 작은 것이 바람직하다. 더욱이, 화염은 제2층이 침적되는 동안보다 제1층이 침적되는 동안이 더 뜨거운 것이 바람직하다.

기초 유리가  $\text{SiO}_2$ 이고, 도펀트가  $\text{GeO}_2$ 이며, 제1 반응물이  $\text{SiCl}_4$ 인 일실시예에서, 제1층을 형성하는 동안의  $\text{SiCl}_4$ 의 흐름 속도는 제3층을 형성하는 동안의  $\text{SiCl}_4$ 의 흐름 속도의 70% 이하가 되는 것이 바람직하다. 더욱이,  $\text{GeO}_2$ 가 유리 튜브의 내부 영역에서 확산하고 침적하는 경향은 소결 단계 동안 수직 어퍼취로 적어도 75 sccm 염소의 흐름에 의해 감소된다.

본 발명은 또한 불소 함유 유리 제품을 형성하는 방법에 관한 것이다. 본 방법은 다공성, 불소 함유 유리 예형을 형성하는 단계, 및 예형을 소결하기 위해 형성된 예형을 제1온도로 가열하는 단계를 포함한다. 소결된 예형은 적어도 1000°C의 온도에서 노출되어 제1 온도보다 낮게 된다.

상술한 일반적인 설명 및 후술되는 상세한 설명은 본 발명의 예시일 뿐이고, 본 발명의 사상 및 특성은 청구범위에 기재된 것과 같다. 첨부된 도면은 본 발명의 이해에 도움이 되고 명세서에 일부를 구성하며 구체화될 것이다. 도면은 본 발명의 다양한 실시예를 도시하였고, 상세한 설명과 함께 본 발명의 원리 및 작용을 설명하는데 도움이 될 것이다.

## 실시예

본 발명의 범위 내의 굴절을 프로파일의 균은 우수한 네거티브 분산 및 분산 경사를 제공하고 밴드 민감성과 같은 다른 광학적 특성을 개선한다. 본 발명에 따른 DC 섬유는 굴절율이 반경의 증가와 함께  $\Delta_R \geq +0.15\%$ 가 되도록 적어도  $n_R$ 의 굴절율로 증가하는 굴절을 증가 세그먼트를 포함하는 "링 영역"을 나타내며, 링의 굴절을 증가 세그먼트는 모트 영역을 너무 적어도  $0.3/\mu\text{m}$ 인 반경에 위치한다.

논의한 목적을 위하여, 모트의 외부 에지는 하기와 같이 정의될 수 있다. 도 4의 형태의 프로파일에서, 모트의 외부 직경의 경사가 곡선이 제로 델타에 도달하기 전에 거의 변화하지 않고, 제로 델타에서의 곡선 상의 포인트는 외부 모트 에지가 된다. 도 5b 형태의 프로파일에서, 모트의 외부 직경의 경사는 곡선이 제로 델타에 도달하기 전에 가파른 변화를 나타내며, 가파른 변화가 일어나는 곡선 상의 포인트는 외부 모트 에지이다.

본 발명에 따른 DC 섬유의 링 영역은 일반적으로 후술되는 실시예의 고려로부터 명백해지는 특성을 갖는 구별되는 내부 및 외부 부분을 갖는다. "구별(distinctive)"은 링 영역이 굴절을 프로파일의 단일 대칭 영역이 도 1의 링(13)으로 되지 않고, 최대 굴절율이 링이 중심에서 또는 그 근처에서 일어난다는 것을 의미한다. 링 영역의 내부 및 외부 영역은 동일하거나 또는 서로 다른 굴절율을 갖는 두 개의 분리된 영역 또는 간격이 없는 링 또는 부분을 포함한다는 점에서 구별된다.

링 영역의 다양한 실시예가 도 3, 4, 5a, 5b, 5c 및 6과 연관되어 설명된다. 대부분의 실시예에서, 링 영역의 최대 굴절율은 그 방사상 중심 외에 링 영역의 반경에서 일어난다. 바람직한 실시예에서, 섬유의 방사상 굴절을 그래프는 링 영역의 외부 하프 내의 면적이 그 내부 하프 내의 면적보다 크다는 점에서 특성화된다. 도 5c는 섬유의 링 영역이 그 최대 굴절율이 링 영역의 중심에서 나타나는 단일 대칭 굴절을 피크라는 점에서 예외가 된다.

본 발명의 현저한 특성은 섬유가 과도한 밴드 민감성을 일으키지 않고 큰 네거티브 분산 및 적절한 네거티브 분산 경사를 나타내도록 하는 그 링 영역이며, 즉, 밴드-에지는 더 긴 파장으로 이동된다. 적절한 네거티브 분산 경사에 의한다는 것은 특수한 시스템에서 요구되는 것에 만족하도록 경사가 충분히 네거티브가 된다는 것을 의미한다.  $1565\text{ nm}$ 보다 작은 파장에서 작동하는 협대역 시스템은 단지 작은 네거티브 분산 경사, 예를 들면, 약  $-0.15\text{ ps/nm}^2 \cdot \text{km}$  및 분산  $D \leq -80\text{ ps/nm} \cdot \text{km}$ 를 필요로 한다. WDM 시스템은 작동 파장에서 분산 경사  $D$ 경사  $D$ 경사  $\leq -0.2$  또한 심지어  $D$ 경사  $\leq 0.3\text{ ps/nm}^2 \cdot \text{km}$ 를 필요로 한다. 다양한 코어 파라미터가 바람직한 분산 특성을 달성하기 위해 최적화될 수 있으며, 그 반대의 결과가 링 영역의 적절한 설계에 의해 보상되거나 방지되는 종래의 섬유에서 발생할 수 있다. 예를 들면,  $\Delta_C$ 는  $1.5\%$  또는 그 이하로 감소될 수 있고,  $\Delta_M$ 는  $-0.4\%$ 보다 더 큰 네거티브한 값으로 감소될 수 있으며, 컷오프 파장은 약  $1000\text{ nm}$  이상의 파장에서 유지될 수 있다. 본 발명은 또한 우수한 분산 특성을 갖고 약  $1000\text{ nm}$  보다 작은 컷오프 파장을 갖는 DC 섬유를 포함하고, 밴드-에지 파장은 C-밴드 시스템에 사용될 수 있도록 충분히 길다.

본 발명의 DC 섬유의 굴절을 프로파일이 도 3에 도시되어 있다. 섬유 프로파일은 링 영역(41)을 포함하는 제1 및 제2 링(33 및 34)으로 교대로 둘러싸인 모트 영역(32)으로 둘러싸인 중심 코어(31)를 포함한다. 바람직한 실시예에서, 중심 코어(31)는 경사지는 굴절을 프로파일을 가지며, 이로 인해 그 굴절율은 식  $n(r)=n_C(1-(r/a)^a)$ 에 따라 감소되고, 여기에서,  $a$ 는 1 및  $\infty$  사이의 수이며, 바람직하게는 1.5 및 2 사이이다. 실리카 클래딩에 대한 중심 코어(31), 모트(32), 링(33), 링(34) 및 내부 링 영역(35, 36, 37) 규준화된 굴절율은 각각  $\Delta_C$ ,  $\Delta_M$ ,  $\Delta_{R1}$ ,  $\Delta_{R2}$  및  $\Delta_S$ 이며, 여기에서  $\Delta_{R1}$ 은  $(n_{R1}^2 - n_{CL}^2)/2n_{R1}^2$ ,  $\Delta_{R2}$ 는  $(n_{R2}^2 - n_{CL}^2)/2n_{R2}^2$ ,  $\Delta_S$ 는  $(n_S^2 - n_{CL}^2)/2n_S^2$ 이며, 여기에서  $n_{R1}$ ,  $n_{R2}$  및  $n_S$ 는 각각 제1 링 영역, 제2 링 영역 및 내부 링 공간의 피크 굴절율이다.  $\Delta_C$ ,  $\Delta_M$ ,  $n_C$ ,  $n_M$  및  $n_{CL}$ 의 정의는 상술한 바와 같다. 중심 코어(31), 모트(32) 및 링(33 및 34)의 반경은 각각  $r_C$ ,  $r_M$ ,  $r_{R1}$  및  $r_{R2}$ 이다. 나머지 델타값 및 굴절율은 도 1b에 도시된 것과 같다. 모트 영역은 중심 코어(31) 및 제1 링(33)에 인접하여 위치한다.

반면에  $\Delta_C$ 는 DC 섬유가 밴드에 민감하지 않도록 1b 형태의 프로파일, 즉, 약  $1.8\%$ 로 상대적으로 크게 유지되어야 하며, 본 발명의 섬유에서  $n_C$ 의 값은  $\Delta_C \leq 1.8\%$ 가 되도록 하며, 어떤 경우에는  $n_C$ 는  $\Delta_C \leq 1.5\%$ 로 충분히 낮은 것이 바람직하며, 이러한 섬유는 과도한 밴드 민감성을 나타내지 않는다.

모트 영역(32)의 깊이는 반경이 증가함에 따라 감소한다. 이러한 형태의 프로파일을 얻기 위한 한가지 방법은 불소 함유 가스를 튜브 예형의 중심으로 및 예형 공극을 통하여 외부로 흐르게 함으로써 모트 영역을 형성하는 다공성 튜브 예형을 도포하는 것이다. 모트 영역 프로파일(39 및 40)은 도핑하는 단계 동안 그 중심으로 뿐만 아니라 튜브 예형의 외부 표면을

따라 도펀트 가스, 바람직하게는  $CF_4$ 를 흐르게 함으로써 얻어질 수 있다. 비록 모트 영역(32)이 영역(39)보다 낮은  $\Delta_M$  값을 갖더라도, 양 프로파일은 섬유 특성에 동일한 효과를 갖는다. 비록 모트 영역(32 및 40)이 동일한 최대 깊이를 갖는다 할지라도, 모트 영역(40)은 그 전체 반경에 걸쳐 확장하는 모트 영역(40)의 낮은  $\Delta_M$ 으로서 분산 경사에 더욱 큰 효과를 갖는다. 적절한 분산 특성  $-0.7\% \leq \Delta_M \leq -0.4\%$ 를 제공하기 위해, 그러나 섬유 제조를 용이하게 하기 위해 어떤 섬유 제조 공정에서  $\Delta_M \geq -0.65\%$ 를 사용한다.

도 3의 링(33 및 34)은 제로 델타(라인 35) 영역에 의해 분리될 수 있고, 또는 각각 파선(36 및 37)에 의해 도시되어 있는 포지티브 또는 네거티브 델타의 영역으로 분리될 수 있다. 선택적으로, 링은 서로 인접하여, 따라서 간격이 없도록 위치할 수 있다. 링 영역의 내부 및 외부 섹션의 피크 굴절율은 서로 다른 것이 바람직하고, 굴절율은  $\Delta_{R1} < \Delta_{R2}$ 가 되도록 하는 것이 바람직하다.  $\Delta_{R1}$ 의 더 낮은 값이 더욱 네거티브한 분산 경사를 제공하는 경향이 있으나, 유효 면적은 낮아지고 밴드 성능은 나빠진다.

반면에 도 3은 외부 링(34)을 넘는 반경에서 클래딩을 나타내면, 프로파일은 분산 특성 또는 다른 섬유 특성의 개선에 효과적이 되도록 링(34) 및 클래딩(38) 사이의 포지티브 및/또는 네거티브 델타의 부가적인 영역을 포함한다.

도 3은 단지 본 발명을 설명하기 위한 이상적인 굴절을 프로파일이다; 본 다이어그램에 기초한 광섬유가 실제로 제조될 때, 모트(32)의 에지와 같은 사각 에지는 도펀트 확산과 같은 공정 조건에 기인하여 라운드화 되거나 수정될 것이다. 굴절을 프로파일의 라운드된 영역은 코어 예형의 굴절을 프로파일인 도 4에 의해 명백하고, 그 링 영역은 각각 내부 및 외부의 분리된 링(33' 및 34')으로 구성되며, 여기에서  $\Delta_{R1} < \Delta_{R2}$ 이고  $\Delta_S > 0$ 이다.

링 영역의 외부 영역에 있는 굴절을 프로파일에 의해 제공된 분산 특성의 개선의 예로서, 유사한 굴절을 프로파일을 갖는 DC 섬유가 형성된다. 제1 섬유는 도 1b 형태의 프로파일을 갖고, 제2 섬유는 도 4에 도시된 바와 같이 제2 링(34')을 포함한다는 점에서 이와 다르다. 양 섬유의  $\Delta_C$ ,  $\Delta_M$  및  $\Delta_{R1}$ 은 각각 약 1.9%, -0.52% 및 0.25%이다. 도 4의 프로파일의 링의 중심 사이의 간격은 약  $1.15\mu m$ 이다.  $\Delta_{12}$ 의 값은 약 0.42%이고,  $\Delta_S$ 의 값은 약 0.16%이다.

도 1b 형태의 섬유는 약 1550 nm의 측정 파장에서  $-85 \text{ ps/nm} \cdot \text{km}$ 의 분산 및  $-0.17 \text{ ps/nm}^2 \cdot \text{km}$ 의 분산 경사를 나타내었다. 도 4 형태의 섬유는 동일한 측정 파장에서  $-120 \text{ ps/nm} \cdot \text{km}$ 의 분산 및  $-0.2 \text{ ps/nm}^2 \cdot \text{km}$ 의 분산 경사를 나타내었다. 제2 링(34')의 부가는 실질적으로 컷오프 파장을 증가시켰고 또한 더 큰 네거티브 분산값에서 섬유를 더욱 안정하게 하였다. 이러한 새로운 디자인의 또 다른 바람직한 특성은 밴드 민감성이 매우 개선된다는 것이다. 제2 섬유의 밴드-에지는 약 1700 nm인 반면, 도 1b의 섬유의 밴드-에지는 약 1600 nm이다.

도 5a, 5b 및 5c의 프로파일은 우수한 분산 특성을 나타낸다. 도 5a에서 내부 링 영역(44)은 상대적으로 작은 델타이나, 반면 외부 영역(45)의 델타는 내부 영역의 델타보다 크다. 내부 영역의 델타의 감소는 300 내지 425의 범위의 값을 억제하기 쉽도록 함과 동시에  $k$ 를 감소시킨다. 링의 내부 영역의 델타는 섬유의 모트 및 링 영역 사이의 인터페이스(43)에서의 굴절을 델타인  $\Delta_1$ 으로 특성화된다.  $\Delta_1$  값은 0.15%이하가 되고 바람직하게는 제로 또는 제로 근처가 되어야 한다. 링 영역의 외부(45)는 굴절을 델타  $\Delta_R$  및 하프 높이 링 폭  $w_R$ 로 특성화된다. 링 외부 영역의 또 다른 중요한 특성은 모트( $r_R - r_M$ )의 외부 에지에 대한 링 피크 반경의 위치이다. ( $r_R - r_M$ )의 값은  $0.3\mu m$  및  $3\mu m$  사이의 범위, 바람직하게는  $1\mu m$  내지  $2.5\mu m$  사이의 범위이다.

도 5a 섬유의 제조 공정에서, 도펀트  $SiF_4$ 를 사용하여, 그 결과 반경이 증가함에 따라 작은 네거티브로 되는 델타를 포함하는 모트가 된다. 프로파일의 모트 델타는 최대 모트% 델타  $\Delta_{M-MAX}$ , 최소 모트% 델타  $\Delta_{M-MIN}$  및 평균 모트% 델타  $\Delta_{AVG}$ 로서, 표 2b에 도시된 바와 같이 특성화된다.

도 5b 섬유의 제조 공정에서, 도펀트  $SiF_4$ 의 사용은 모트(46)가 반경이 증가함에 따라 상대적으로 일정한 델타를 나타내도록 굴절을 프로파일이 된다. 프로파일의 모트 델타는 평균 모트% 델타  $\Delta_{AVG}$ 로서, 표 2b에 도시된 바와 같이 특성화된다.

표 2a 및 2b는 DC 섬유 F 및 G의 물리적 특성을 나타내고 있으며, 도 5a에 도시된 형태의 굴절을 프로파일을 가지며, DC 섬유 H는 도 5b에 도시된 형태의 굴절을 프로파일을 갖는다. DC 섬유 F, G 및 H의 광학적 특성은 표 3a 및 3b에 열거되어 있다.

[표 2a]

DC 섬유	섬유 직경 ( $\mu\text{m}$ )	코어 반경 ( $\mu\text{m}$ ) $r_c$	모트 반경 ( $\mu\text{m}$ ) $r_m$	모트 폭 ( $\mu\text{m}$ ) $w_m$	링피크반경 ( $\mu\text{m}$ ) $r_R$	하프높이 링폭 ( $\mu\text{m}$ ) $w_R$
F	125	1.74	4.19	2.45	5.55	0.61
G	125	1.75	3.88	2.13	5.74	0.49
H	128	1.75	3.89	2.14	5.84	0.51

[표 2b]

DC 섬유	코어 델타 % $\Delta_c$	링 델타 % $\Delta_R$	인터페이스 델타 % $\Delta_I$	최대 모트 델타 % $\Delta_{M-MAX}$	최소 모트 델타 % $\Delta_{M-MIN}$	평균 모트 델타 % $\Delta_{M-AVG}$
F	1.96	0.45	0.04	-0.63	-0.44	-0.52
G	1.93	0.58	0.00	-0.69	-0.42	-0.52
H	1.88	0.51	-0.08			-0.50

[표 3a]

DC 섬유	PK Attn 1550 (dB/km)	PK Attn 1620 (dB/km)	밴드 핀 어 레이 1550 (dB/km)	밴드 핀 어 레이 1620 (dB/km)	BPA=5 dB/km에서의 파장( $\mu\text{m}$ )
F	0.53	0.45	0.83	8.21	1610
G	0.50	0.43	0.13	1.80	1660
H	0.45	0.41	0.08	0.87	1690

[표 3b]

DC 섬유	분산 1545nm	분산경사	퍼센트보상	MFD 1550	컷오프파장	$\kappa$ 값
F	-90.6	-0.30	99%	4.64	1096	304.32
G	-89.5	-0.24	80%	4.66	1423	373.33
H	-86.9	-0.19	67%	4.75	1507	450.47

표 2b에 기재된 델타값을 결정하기 위해, 섬유 예형은 오버클래딩이 섬유 예형 상에 침적되기 전에 요크 프로파일 분석기(York profile analyzer)로 측정되었다. 예형의 조성이  $\Delta_I$ 이 네거티브가 되지 않으므로, 요크 프로파일의 가공물은 DC 섬유 H가 -0.08%가 되는 것으로 생각된다.

DC 섬유는 섬유 굴절을 프로파일이 도 5b에 도시된 바와 같이 형성될 수 있다. 이러한 섬유에서, 링 영역의 내부 영역(47)의 굴절율은  $\Delta_I$ 이 네거티브가 되도록 한다. 내부 영역(47)은 그 영역을 불소와 같은 굴절을 감소 도펀트로 형성하는 실리카

로 도핑함으로써 형성될 수 있다. 만일, 모든 다른 프로파일 특성이 동일하게 남는다면,  $\Delta_1$ 은 더욱 큰 네거티브가 되고, 분산 특성은 향상되나, 섬유에 밴드 민감성은 악화된다. 도 5b는 반경  $r_M$ 에서 모트의 외부 에지가 곡선의 경사에서 가파른 변화가 일어나는 굴절을 프로파일 곡선 상의 그 포인트에서 일어나는 것을 보여준다.

경험으로부터 DC 섬유에 대한 1500 nm에서의 감쇠는 주로 밴드-에지에 의해 지배된다는 것을 알 수 있다. DC 섬유의 코일의 감쇠에 대한 유용한 대응물이 되는 초과 감쇠값을 제공하기 위해 핀 어레이 테스트가 사용될 수 있다. 10개의 0.65 mm 직경의 핀이 중심 사이에 5 mm의 간격을 두고 선형 어레이로 배열된다. DC 섬유의 8 미터가 테스트에 사용되었다. 섬유의 말단 부분은 인접하는 핀 사이의 내부 및 외부로 쪼개져있고, 섬유의 감쇠가 측정되었다. 섬유는 핀 어레이로부터 제거되고, 그 감쇠가 다시 측정되었다. 핀 어레이에 기인한 초과 손실은 밴드 핀 어레이 손실(Bend Pin Array loss)이라 한다. 표 3a는 이 손실이 1550 nm보다 약 1620 nm의 파장에서 더 크다는 것을 보여준다. 이것은 C-밴드에서 분산 보상 섬유로 사용하기 적절한 어떤 섬유는 L-밴드에서 사용하기에 적절하지 않다는 것을 보여준다. 핀 어레이 손실은 가장 긴 사용 파장에서 12 dB/km 이하이고, 그 파장에서 5 dB/km 이하의 핀 어레이 손실이 되는 것이 바람직하다. 표 3a의 마지막 컬럼은 밴드 핀 어레이 손실이 5 dB/km인 파장을 열거하고 있다. 1550 nm 또는 1620 nm와 같은 주어진 파장에서 낮은 핀 어레이 수는 보다 긴 컷오프 파장 및/또는 보다 작은 모드 필드 직경에 대응한다.

컷오프 파장은 DC 섬유의 상대적으로 짧은 테스트 길이에서 측정되고, 이러한 측정된 컷오프 파장은 전체 수-킬로미터의 DC-섬유의 컷오프 파장보다 크다. DC 섬유의 전체 길이의 컷오프 파장은 표 3b에 열거된 것보다 낮은 약 100 nm까지이다.

표 3a 및 3b는 링-모트 간격( $r_R - r_M$ )이 증가함에 따라 섬유가 낮은 밴딩 손실을 나타내는 것을 보여준다.

도 5c는 DC 섬유의 굴절을 프로파일이고, 그 링 영역은 단일의 대칭 굴절을 피크(48)로 구성되고, 즉, 피크(48)는 인터페이스(50)와 링 영역의 외부 에지(49) 사이의 중간에 있는 반경에서  $\Delta_R$ 의 최대값을 달성한다. 굴절율은 반경의 증가와 함께 모트 영역을 넘어 적어도 0.3  $\mu\text{m}$ 인 반경에서 적어도  $n_R$ 의 굴절율로 증가한다.  $n_R$ 의 값은  $\Delta_R \geq +0.15\%$ 로 충분히 크다.

본 발명의 링 영역을 구체화하는 분산 보상 섬유는 10 Gbs 및 그 이상의 비트율로 작동하는 WDM 시스템에 사용하기 적절한 네거티브 분산 및 네거티브 분산 경사를 제공하고 동시에 낮은 밴드 민감성을 나타낼 수 있다. 300을 초과하는 성능이 달성될 수 있다. 더욱이, 이러한 DC 섬유는 양호한 모드 필드 직경, 즉, 약 4  $\mu\text{m}$  이상의 직경을 나타낸다. 컷오프 파장이 상대적으로 길고 밴드-에지가 적어도 1700 nm의 파장이므로, 이 섬유 디자인은 1520 nm 내지 1620 nm 영역에 있는 파장에서 작동하는 섬유 증폭기를 사용하는 시스템에서 유용하다.

비록 분산 경사의 더욱 큰 네거티브 값을  $\Delta_M$ 을 감소시킴으로써 달성될 수 있지만, 순수한 실리카의 클래드 섬유에 대하여  $\Delta_M$  값이 약 -0.65% 이하가 될 때 공정이 더욱 어려워진다. 굴절을 증가 도펀트를 갖는 클래딩을 업도핑하는 것이 보다 깊은 모트 영역을 제공하는 것에 효과적이라는 것을 알 수 있다. 그러나, 도 1a 및 1b에 도시된 형태의 프로파일을 가진 클래딩 업도핑은 행해질 수 없고, 섬유 컷오프 파장은 낮게 시작되며, 업도핑은 낮은 컷오프 파장을 만든다. 그러나, 제2 링의 추가로 컷오프 파장은 더욱 길게(예를 들면, 1300 nm 근처) 이동될 수 있으며, 이로 인해 도 3, 4, 5, 5a 및 5b에 의해 나타난 형태의 섬유는 보다 깊은 모트를 효과적으로 달성하도록 클래딩-업도핑 될 수 있다.

컴퓨터 모델링 기술이 보다 깊은 모트를 달성하기 위해 업도핑하는 효과를 분석하는데 사용될 수 있다. 두개의 링 DC 섬유 및 프로파일의 업도핑된 버전이 도 6에 도시되어 있다. 모든 프로파일에 대한  $\Delta_M$ 의 값은 약 0.5%이다. 5개의 서로 다른 프로파일이 고려된다. 접미어 "a"로 표시된 프로파일 영역은 업도핑이 없는 것을 나타내고; 접미어 "b"로 표시된 프로파일 영역은 0.1% 델타로 델타를 증가시키는 업도핑을 나타내며; 접미어 "c"로 표시된 프로파일 영역은 0.2% 델타로 델타를 증가시키는 업도핑을 나타낸다. 표 4에 열거된 모든 수는 실리카에 대한 % 델타를 나타낸다.

**[표 4]**

프로파일	중심 코어	모트	제1 링	인터링영역	제2 링	클래딩
A	2.0	-0.5	0.25	0	0.42	0
B	2.1	-0.5	0.35	0.1	0.52	0.1
C	2.2	-0.5	0.45	0.2	0.62	0.2
D	2.0	-0.5	0.25	0.1	0.42	0.1

E	2.0	-0.5	0.25	0.2	0.42	0.2
---	-----	------	------	-----	------	-----

프로파일 A는 링 영역이 두 개의 간격이 있는 링으로 구성되는 점에서 도 3 및 4와 유사한 굴절을 프로파일을 나타낸다. 프로파일 B 및 C에서, 프로파일 A와 비교하여 모트를 제외한 섬유의 모든 영역은 각각 0.1% 델타 및 0.2% 델타로 업도프된다. 만일, 예를 들면, 게르마니아는 굴절을 증가 도펀트로서 사용되고, 부가적인 게르마니아가 클래딩 및 모트를 제외한 모든 코어 영역에 추가될 수 있다. 프로파일 D 및 E는 중심 코어 영역이 업도프되지 않는 점을 제외하고는 각각 프로파일 B 및 C와 유사하다.

표 2의 모든 프로파일에 대한 분산 및 분산 경사 사이의 관계가 도 7에 도시되어 있다. 또한, 흑색 다이아몬드로 표시된 라인은 SMF 섬유에 대한 완전 보상 라인을 나타낸다. 도 7은 바람직한 네거티브 분산 경사가 미리 지정된 네거티브 분산에 대해 달성될 수 있음을 보여준다. 화살표 71은 보다 나은 분산 특성의 방향을 나타낸다. 따라서, 백색 사각 데이터 포인트로 표시된 섬유 프로파일은 흑색 원으로 표시된 섬유 프로파일보다 우수한 분산 특성을 나타낸다. 그러나, 화살표 71은 또한 증가된 밴드 민감성, 작은 유효 면적 및 높은 감쇠의 방향을 나타낸다.

프로파일 B로 표시된 섬유는 주어진 분산 및 분산 경사에 대하여 프로파일 D로 표시된 섬유보다 낮은 핀 어레이 수를 나타내고, 프로파일 C로 표시된 섬유는 주어진 분산 및 분산 경사에 대하여 프로파일 E로 표시된 섬유보다 낮은 핀 어레이 수를 나타낸다.

중심 코어 영역이 클래딩을 따라 업도프되는지 여부에 상관없이, 네거티브 분산 경사  $-0.3$  내지  $-0.4 \text{ ps/nm}^2 \cdot \text{km}$ 의 네거티브 분산 경사는 약  $1550 \text{ nm}$ 의 파장에서 달성될 수 있고, 분산은 약  $-80$  내지  $-100 \text{ ps/nm} \cdot \text{km}$ 의 분산이다. 에르븀 증폭기 동작 윈도우에서 완전 보상에 대하여,  $-0.28$  내지  $-0.34 \text{ ps/nm}^2 \cdot \text{km}$ 의 경사가  $-85$  내지  $-100 \text{ ps/nm} \cdot \text{km}$ 의 범위의 분산에 대하여 필요하다. 도 7에 도시된 데이터 포인트로부터, 프로파일 C, D 및 E 중에서 이러한 요구가 달성된다는 것을 알 수 있다.

도 8에서, DC 섬유의 A 내지 E의 분산/D경사의 비가 분산의 함수로서 도시되어 있다. 실선은 SMF 섬유의 분산/D경사값이다. 이 그래프는 만일 섬유가 표 2의 프로파일 D가 사용된다면, 완전 보상이  $1550 \text{ nm}$  작동 윈도우에서 약  $-90 \text{ ps/nm} \cdot \text{km}$ 의 분산에 대해 달성되어야 하는 것을 나타낸다.

따라서, 본 발명의 링 영역은 섬유 컷오프 파장을 반대로 감소시키지 않고 상대적으로 깊은 모트를 달성할 수 있고, 이로 인하여 높은 Gbs 시스템에 의해 요구되는 더욱 네거티브한 분산 경사를 제공하는 것을 알 수 있다.

본 발명에 따른 DC 섬유는 도 9로 표시된 전송 시스템에 사용된다.  $1520 \text{ nm}$  이상의 파장에서 신호원(81)은  $1290 \text{ nm}$  내지  $1330 \text{ nm}$ 의 범위에서 약  $1310 \text{ nm}$ 와 같은 파장에서 제로 분산을 가진 표준 SMF 섬유(82)를 포함하는 전송 링크로 내보낸다. SMF 섬유(82)의 말단에서, 신호는 에르븀 도프 광섬유 증폭기(83)로 커플된다. 하나의 특수한 시스템에 따르면, 증폭된 신호는 DC 섬유(84)로 커플된다. 보상 섬유(84)는 전송 링크 내의 증폭기(83) 중 하나의 측면에 위치할 수 있고, 더욱이 증폭되고 전송될 수 있는 신호가 미리 왜곡되도록 SMF 섬유(82)의 앞에 위치할 수 있다. 어떤 시스템에서 DC 섬유(84)는 전송 링크의 길이에 따라 증폭기 없이 사용될 수 있다. 신호가 검파기(85)로 전송되기 전에 대역 필터(86)가 섬유 증폭기(83)로부터 원하지 않는 증폭된 순간 방출의 필터로 사용된다. WDM 성분과 같은 다른 장비는 도시되지 않았다.

도 5a 및 5b와 관련하여, 제로 근처의  $\Delta_1$  값을 갖는 DC 섬유는 매우 양호한 분산 및 감쇠 특성을 나타낸다. 이러한 섬유의 제조할 때, 모트 영역으로 인터페이스를 형성하는 다공성 예형의 영역은 순수한  $\text{SiO}_2$ 로 형성되고, 인접하는 링 영역은  $\text{GeO}_2$ 와 같은 굴절을 증가 도펀트로 도핑된  $\text{SiO}_2$ 로 형성된다. 다공성 예형을 고화시키는 공정 동안, 어떤  $\text{GeO}_2$ 는 인접하는 실리카 영역으로 확산될 수 있고, 이로 인하여  $\Delta_1$ 은  $k$ 가 증가하고 밴딩 손실이 증가하도록 제로 근처보다 충분히 크다. 다음 공정에서 도 5b 형태의 섬유의 형성이 되고  $\text{GeO}_2$  확산이 최소화된다.

게르마니아 도핑된 실리카의 중심 코어 로드는 적절한 기술에 의해 형성된다. 게르마니아 농도는 반경에 따라 감소하고 이로 인하여 굴절율은 식  $n(r)=[1-(r/a)^a]$ 에 따라 방사상으로 감소하며, 여기에서  $a$ 는 약 2이고,  $n_c$ 는 로드의 피크 굴절율이며,  $a$ 는 로드의 외부 직경이다.



불소 도프된 실리카 튜브는 고화노에서 정지해 있는 튜브형 다공성 예형을 형성하기 위해 큰 직경의 맨드릴 상에 실리카 입자를 침적시키고 맨드릴을 제거하는 통상적인 방법으로 형성된다. 도 10에 도시된 형태의 표준 장비는 다공성 예형의 제조 공정 중에 또한 건조/고화 공정 중에 사용된다. 예형은 헬륨이 노 머플을 통하여 흐르고 헬륨 및 염소가 예형의 중심으로 흐르는 동안 그것을 건조시키기에 충분한 시간 동안 초기에 약 1000℃로 가열된다. 그 후, 예형은 헬륨 및 CF<sub>4</sub>가 노 머플을 통하여 흐르고, 헬륨, 염소 및 CF<sub>4</sub>가 예형의 중심으로 흐르는 동안 약 1500℃로 노의 가열 존을 통하여 충분한 속도로 그것을 저하시킴으로써 점차로 고화된다. 제2의 통과하는 동안 결과적인 예형은 불소 도프된 튜브의 후속 공정 동안 시드(seeds)를 감소시키도록 1000℃보다 높고 소결 온도보다 낮은 온도로 재가열된다. 이것은 헬륨이 노 머플을 통하여 흐르고 염소가 튜브의 중심으로 흐름에 따라 바람직하게는 약 1400℃로 노의 가열 존을 통하여 적절한 속도로 예형을 인발함으로써 행하여진다. 이러한 공정은 고체, 염소-도프된 실리카 튜브를 형성한다.

상술된 코어 로드는 고체 염소 도프된 튜브 안으로 위치되고, 염소의 퍼지(purge)는 튜브를 가열하고 로드 및 튜브 사이의 영역을 통하여 염소를 흐르게 함으로써 영향을 받는다. 로드 및 튜브 사이의 영역은 그 후 진공이 되고, 로드 및 튜브의 구성의 말단은 튜브를 로드 상으로 붕괴시키고 튜브가 코어 로드와 밀접하여 접촉하는 8 mm 직경의 중간 예형을 형성하도록 가열되어 재인발된다.

그 후 다공성 링 예형(89)이 도 10에 도시된 바와 같이 비도프된 및 도프된 실리카 입자의 버너(91) 층으로부터 맨드릴(90) 상으로 연속적으로 침적시킴으로써 형성된다. 맨드릴은 버너에 대하여 그 축을 따라 전후로 변환되고 침적 공정 동안 그 축을 중심으로 회전된다. 버너(91)는 화염 가스, 내부 실드 산소 IS 및 외부 실드 산소 OS가 공급된 개구의 중심 링에 의해 둘러싸인 중심 증기 홀을 갖는 통상적인 버너이다. 여러 가지 버너 개구에 대한 가스 및 반응물의 흐름 속도는 표 5에 열거되어 있고 모든 흐름 속도는 slpm 단위로 표시된다. 표 5는 다공성 예형의 내부 밀도 및 전이부를 제조하는데 요구되는 버너가 통과하는 유일한 흐름 속도를 준다. 버너가 통과하는 나머지 부분은 통상적인 방법으로 수행된다.

[표 5]

통과 번호	IS	OS	O <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	SiCl <sub>4</sub>	증기 O <sub>2</sub>
1	0.75	1.5	3.5	5.0	0	0.5
2	3.0	6.0	4.2	5.0	1.3	2.0
11	3.41	5.81	5.11	6.078	1.32	2.368
12	3.41	5.81	5.11	6.078	1.32	2.368
36	3.535	5.753	5.293	6.298	2.5	2.478

맨드릴에 대하여 버너가 제1 통과를 하는 동안 침적은 일어나지 않는다. 2-11을 통과하는 동안 유리 입자층은 다공성 실리카의 고밀도 층이 형성된 조건하에서 맨드릴 상에 침적되고; 흐름 속도는 통과 2의 흐름속도로부터 통과 11의 흐름속도까지 선형적으로 변화한다. 버너가 12-36을 통과하는 동안 실리카의 전이층은 밀도가 고밀도로부터 통상의 밀도로 변화하면서 형성되고, 흐름 속도는 통과 12로부터 통과 36까지 선형적으로 변화한다.

예형의 나머지 부분은 통상적인 방법으로 침적된다. 37 내지 156을 통과하는 동안, 통상적인 밀도의 실리카가 침적된다. GeO<sub>2</sub>-도프된 SiO<sub>2</sub>는 157 내지 201을 통과하는 동안 통상적인 방법으로 침적된다. 통과 202 내지 1201은 다공성 예형 상에 순수한 실리카의 외부층을 침적시킨다.

맨드릴(90)은 다공성 예형(89) 및 핸들(93)로부터 제거되어 도 11의 속이 빈 다공성 예형(89)을 형성한다. 짧은 길이의 실리카 모세관(95)은 핸들(39)에 대항하는 예형 어퍼취(96)가 말단으로 삽입된다.

핸들(93)의 소형 직경의 말단에는 다수의 새김(indentations)(101)이 제공된다. 확대된 말단(100)은 중간 예형 로드(99)의 하나의 말단 상에 형성된다. 로드(99)는 핸들(93)을 통하여 삽입되고, 확대된 말단(100)이 새김(101)에 접촉할 때까지 예형 어퍼취(96)로 삽입된다. 합성 예형은 고화노 내에서 핸들(93)에 의해 유지되며, 그 머플(94)이 개략적으로 도시되어 있다. 노는 약 1000℃로 60분 동안 가열되고, 예형을 건조시키도록 640 sccm 헬륨 및 66 sccm 불소가 핸들(93)을 통하여 어퍼취(96)(화살표 97)로 흐른다. 그 후, 예형은 20 sccm 헬륨이 노 머플(화살표 98)을 통하여 흐르고 320 sccm 헬륨 및 90 sccm 염소가 핸들(93)을 통하여 어퍼취(96)로 흐르는 동안 1500℃ 노의 가열 존을 통하여 5 mm/분으로 저하시킴



으로써 점차로 고화된다. 후압력 게이지가 튜브(95)가 밀폐되었음을 표시할 때, 가스 흐름(97)이 종료된다. 재소결 중에 결정적인 예형은 1400℃ 가열 존을 통하여 5 mm/분 속도로 구동되고 20 sccm 헬륨이 머플을 통하여 흐른다. 고화 공정 중에 다공성 예형(89)은 로드(99) 상으로 붕괴되어 도 5b에 도시된 굴절을 프로파일의 고체 유리를 형성한다. 유리 로드는 인발 노 안으로 삽입되고 그 직경이 감소되어 인발되어 최종 예형 로드를 형성한다.

최종 예형 로드는 DC 섬유로 인발되는 블랭크를 형성하도록 고화되는 실리카 입자로 오버클래드 된다. 적용되는 오버클래드의 양은 인발 섬유의 코어 직경을 결정하며, 섬유의 분산 및 다른 특성을 차례로 결정한다. 표 3a 및 3b에 도시된 바와 같이, 분산 특성 및 컷오프 파장과 같은 광학적 특성은 또한 링 피크와 모트의 외부 에지 사이의 방사상의 분리에 의해 결정된다. 이러한 방사상의 거리는 전이층이 침적된 후에  $\text{SiO}_2$ 를 침적시키는데 사용된 통과수에 의해 결정된다. 특히 상기 예의 침적 부분에서, 그것을 통과하는 제1 36 버너가 표 5에 열거되어 있고, 이 거리는 156을 통한 통과 37로부터 제조된 120 통과에 의해 결정된다.

최종 섬유의 특성이 DC 섬유로서 표 2a, 2b, 3a 및 3b에 기재되어 있다. 제로 근처의  $\Delta_1$ 의 값은 섬유를 제조하는 공정의 두 가지 특징 때문에 달성된다.

제1 공정 특성은 섬유 클래딩의 링 영역 및 내부 영역을 형성하는 예형의 침적에 관한 것이다. DC 섬유의 이 영역은  $\text{GeO}_2$ 와 같은 굴절을 증가 도펀트가 거의 없거나 전혀 없다.  $\text{GeO}_2$ 가  $\text{SiO}_2$  내부 링 영역으로 확산되는 것을 방지하기 위하여, 특히, 링/모트 인터페이스에 대하여, 링 영역을 형성하는 다공성 예형의 제1 침적 부분은 통상적인 침적 밀도보다 상당히 높은 밀도로 침적된다. 이것을 달성하기 위하여, 반응물, 예를 들면  $\text{SiO}_2$ 를 형성하는  $\text{SiCl}_4$ 의 흐름은 전이 영역 보다 큰 반경으로  $\text{SiO}_2$  영역을 형성하기 위해 사용되는 통상적인 반응물 흐름 속도의 70% 이하의 흐름속도로 감소된다. 또한, 화염 온도는 높은 밀도 층의 침적시에 높게 된다. 전이 영역보다 작은 반경에서 저밀도 영역의 밀도는 예형의 제1 침적 부분의 밀도보다 적어도 30% 작다. 반면에, 실리카 및 게르마니아가 상기 예의 예형을 제조하는데 사용되고, 본 발명의 개선된 방법은 적절한 기초 유리 및 굴절을 변조 도펀트를 적용한다.

제2 공정 특성은 섬유 클래딩의 링 영역 및 내부 영역을 형성하는 예형의 고화에 관한 것이다. 링/모트 인터페이스에  $\text{GeO}_2$ 가  $\text{SiO}_2$  내부 링 영역으로 확산되는 것을 방지하기 위하여, 적어도 75 sccm 염소가 소결 상 중에 예형 어퍼취로 흐른다. 예형 어퍼취 내 및 다공성 예형의 인접 부분의 고농도의 염소 때문에,  $\text{GeO}_2$ 는 이러한 예형의 영역 내에 침적되지 않는다.

두개의 공정 특성 없이,  $\text{GeO}_2$ 는 외부 링 영역(45')으로부터 내부 링 영역(47)(도 5b)으로 확산되어, 내부 링 영역에 충분히 포지티브한  $\Delta_1$  값이 증가되고, 컷오프 파장이 밴드 에지 원하는 것 이하로 저하되어 밴드 에지 파장이 감소한다. 이러한 공정 특성 중 어느 하나로서  $\text{GeO}_2$  확산을 감소시킨다.

본 발명분야의 기술자는 본 발명의 사상 및 범부를 벗어나지 않고 다양한 변형 및 변경을 할 수 있을 것이다. 따라서, 본 발명은 첨부된 청구범위 및 그 균등물의 범위 내에서 제공된 발명의 변형 및 변경을 포함한다.

### 도면의 간단한 설명

도 1a 및 1b는 종래의 분산 보상 광섬유의 두 개의 통상적인 형태의 굴절을 프로파일을 도시한 도면.

도 2는 도 1b에 대한 섬유의 서로 다른 값의 외부 직경 값에 대한 분산 및 분산 경사의 관계를 도시한 것이며, 부가적으로 고비트율의 시스템에 사용하기에 적절한 DC 섬유에 대한 분산 및 분산 경사의 허용 영역을 도시한 도면.

도 3은 본 발명의 분산 보상 섬유의 이상적인 굴절을 프로파일을 도시한 도면.

도 4는 본 발명의 분산 보상 섬유의 제1 실시예의 굴절을 프로파일을 도시한 도면.

도 5a, 5b 및 5c는 본 발명의 또 다른 실시예의 굴절을 프로파일을 도시한 도면.

도 6은 클래딩의 업도핑된 것을 나타내는 다수의 굴절을 프로파일을 도시한 도면.

도 7은 표 4로 특성화된 섬유 프로파일에 대한 분산 및 분산 경사 사이의 관계를 도시한 도면.

도 8은 표 4로 특성화된 다양한 DC 섬유 프로파일의 분산 대 분산 프로파일의 비 사이의 관계를 분산의 함수로서 도시한 그래프.

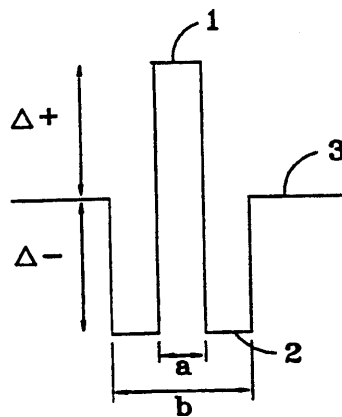
도 9는 분산 보상 섬유를 사용하는 광 전송 시스템을 개략적으로 도시한 도면.

도 10은 본 발명에 따른 분산 보상 섬유의 제조에 사용된 다공성 유리 예형을 형성하기 위한 유리 입자의 침적을 개략적으로 도시한 도면.

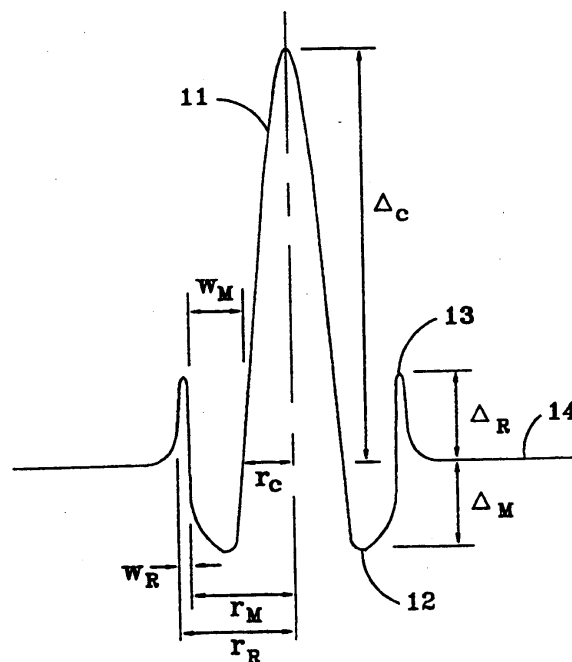
도 11은 분산 보상 섬유의 제조에 사용되는 예형을 형성하기 위해 유리 로드 상에 다공성 예형을 고화시키는 것을 나타내는 단면도.

도면

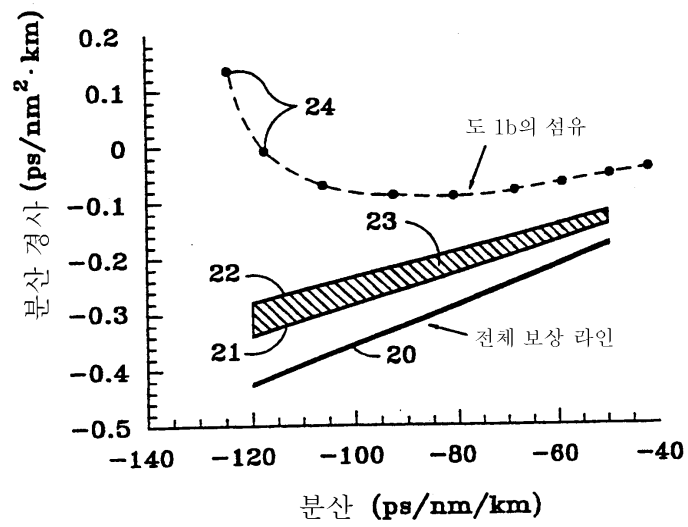
도면1a



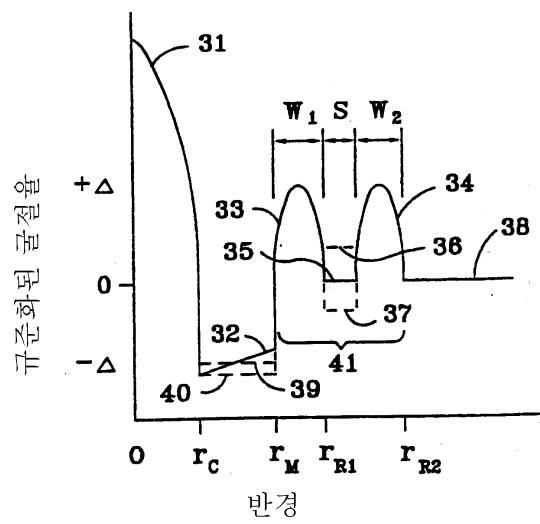
도면1b



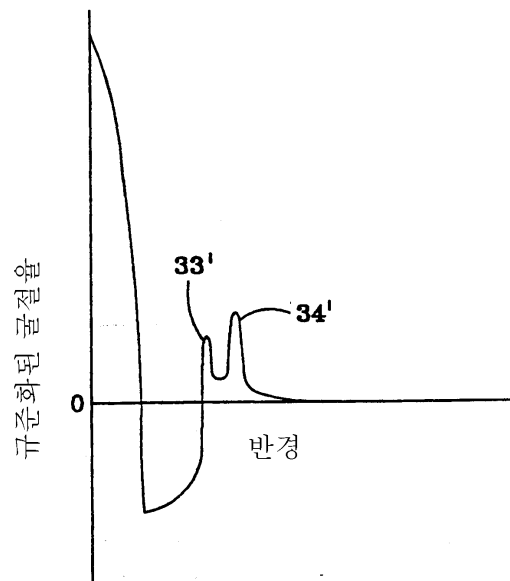
도면2



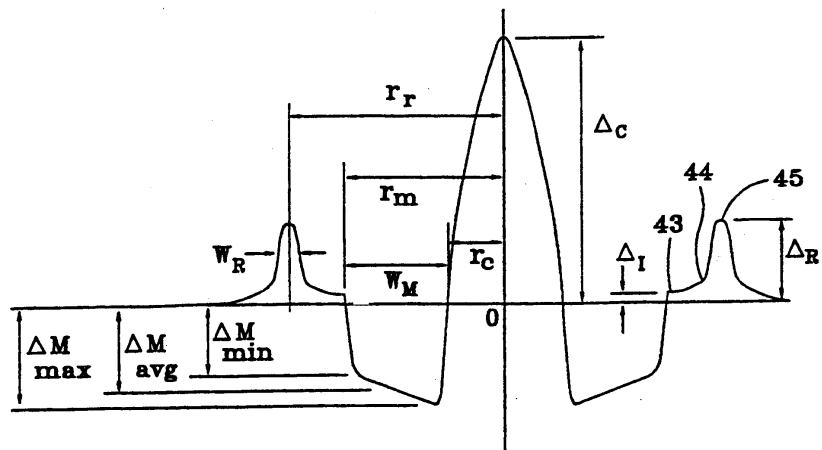
도면3



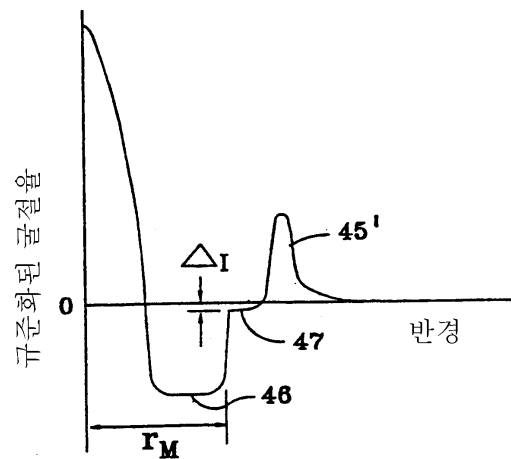
도면4



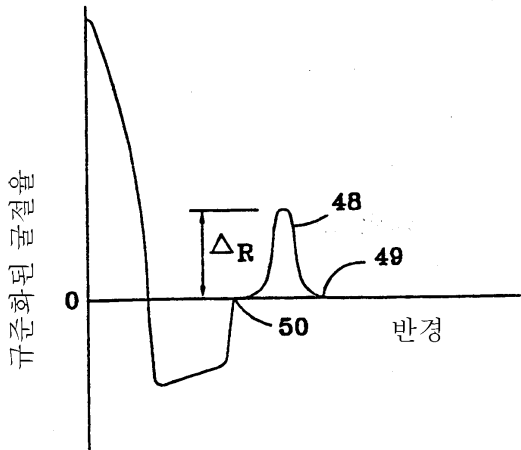
도면5a



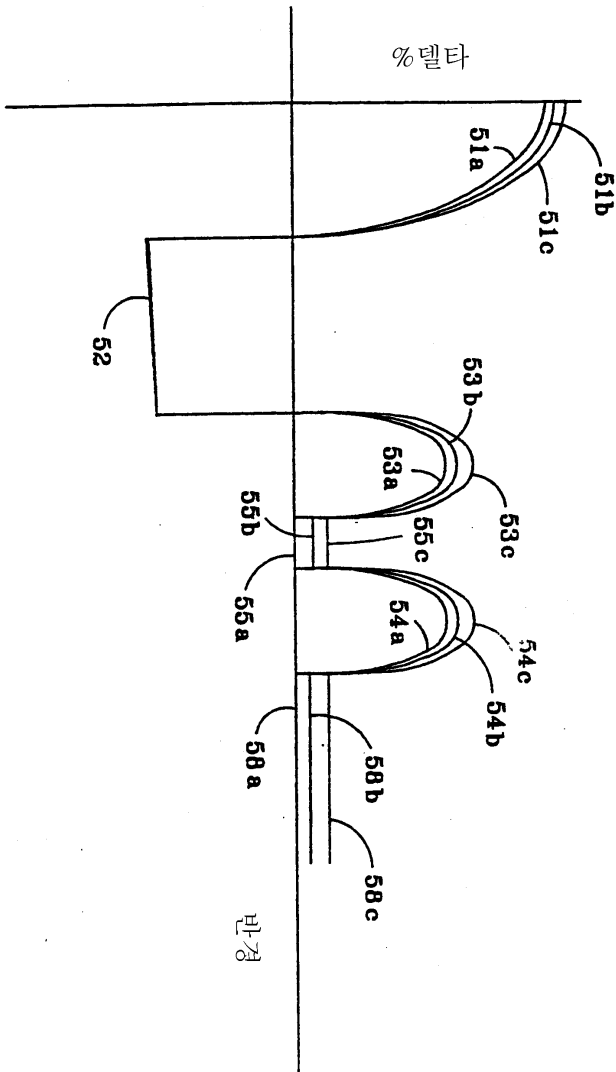
도면5b



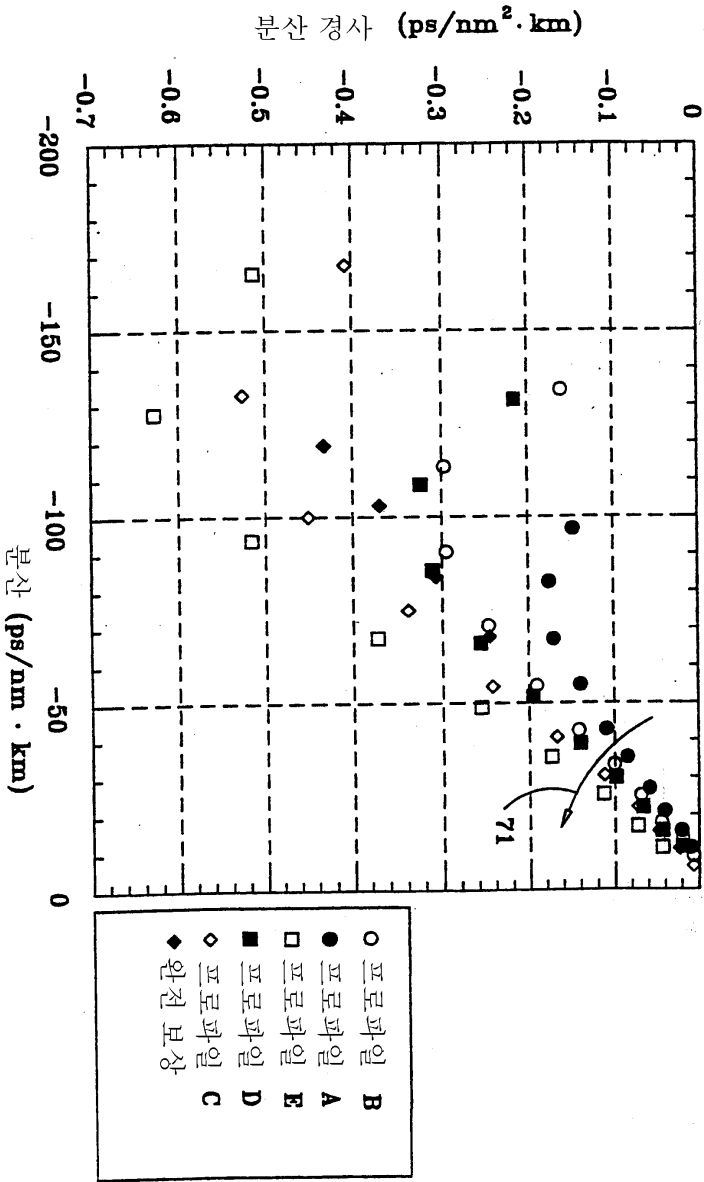
도면5c



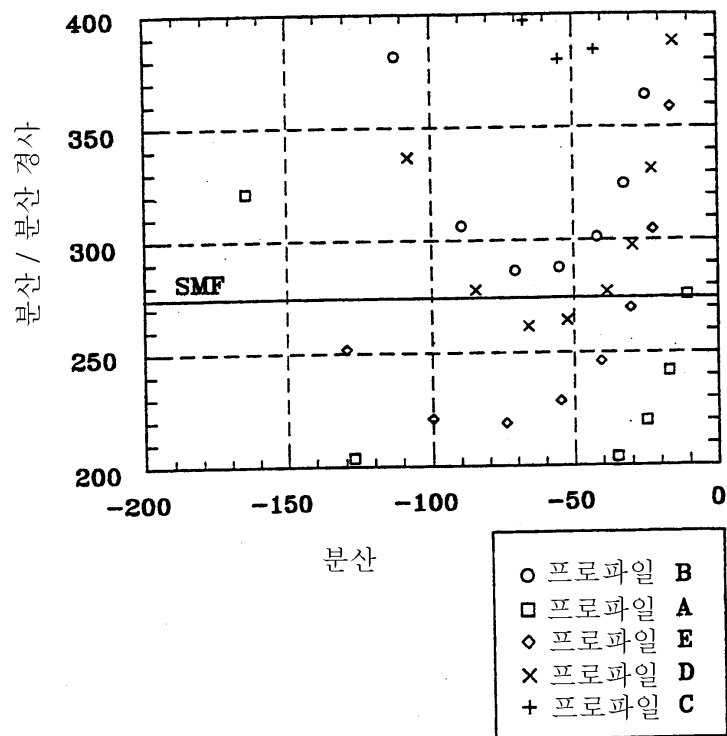
도면6



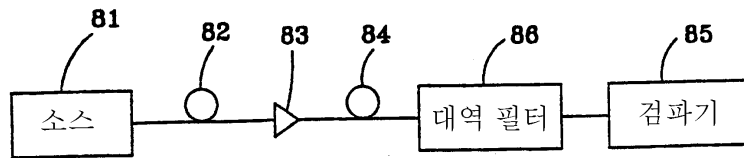
도면7



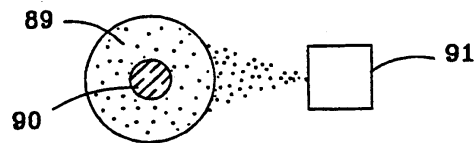
도면8



도면9



도면10





도면11

