

(19)대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup> (11) 공개번호 10-2005-0084469  
G02B 6/16 (43) 공개일자 2005년08월26일

(21) 출원번호 10-2005-7011771  
(22) 출원일자 2005년06월22일  
    번역문 제출일자 2005년06월22일  
(86) 국제출원번호 PCT/EP2002/014757 (87) 국제공개번호 WO 2004/059355  
    국제출원일자 2002년12월24일                      국제공개일자 2004년07월15일

(71) 출원인 피렐리 앤 씨. 에스.피.에이.  
이탈리아, 밀라노, 비아 가에타노 네그리 10

(72) 발명자 콜라로 안토니오  
이탈리아 아이-80059 토레 델 그레코 35 비아 엔리코 데 니콜라  
페리 주세페  
이탈리아 아이-84013 카바 데이 티레니 55 비아 마르코니  
파놀로 알폰소  
이탈리아 아이-84091 바티파글리아 14 비아 파리니

(74) 대리인 강용복  
김용인

심사청구 : 없음

(54) 접속손실이 낮은 광섬유 및 그 제조방법

요약

본 발명은 낮은 접속손실과 낮은 감쇠를 갖는 비영분산 천이 광섬유 제조방법 및 상기 방법에 의해 제조된 광섬유에 관한 것이다. 인출 인장세기를 줄임으로써 접속손실의 감쇠가 관찰된다. 광섬유는 3개의 세그먼트와 하나의 내부 클래딩 세그먼트를 포함하고, 각각이 최대 굴절률 퍼센트 차,  $\Delta_i\%$ ,  $i=0-3$ 을 가지며, 첨자  $i$ 는 각각을 말하며, 상기 코어 세그먼트는  $\Delta_0\% > \Delta_2\% > \Delta_1\% \geq 0$  및  $\Delta_2\% > \Delta_3\% \geq 0$ 이도록 선택되는 코어 영역을 포함한다. 낮은 접속손실을 나타내는 광섬유는 많아야 150g, 바람직하게는 많아야 100g의 인장세기로 인출되었다.

대표도

도 2

색인어

접속손실, 광섬유, 유리 광섬유모재

명세서

기술분야

현재의 장거리 통신링크는 일반적으로 통신용량(capacity)을 증가시키고 신호재생 사이의 거리를 확장시키도록 파장분할 다중방식(WDM)이고 0 분산이거나 저분산 광섬유를 사용한다. 그러나, WDM 시스템에서 0 분산 또는 저분산 전송 광섬유의 사용은 4광파 혼합(four wave mixing, FWM)과 같은 비선형 현상으로 인해 심각하게 성능이 저하될 수 있다. FWM을 최소화하기 위해, 0 분산 파장이 전송대역, 통상적으로는 C대역(1530-1565nm) 및/또는 L대역(1565-1620nm) 밖에 위치되어야 한다. 전송대역에서의 분산량이 조절되고 감쇠가 낮아지게 만든 광섬유를 ITU-T 추천 G.655에 명시된 비영분산 천이(non-zero dispersion-shifted, NZD) 광섬유라고 한다. 상용의 NZD 광섬유의 예로는 TrueWave®(루센트(Lucent)의 상표), LEAF® 및 MetroCor®(코닝(Corning)의 상표) 및 FreeLight®(피렐리(Pirelli)의 상표)이다.

큰 유효면적을 갖는, 즉, LEAF® 및 FreeLight® 광섬유와 같은 약  $50\mu\text{m}^2$  보다 큰 유효면적을 갖는 NZD 광섬유는 비선형 광학효과를 감소시키는 한편 큰 광출력을 갖는 신호를 전달하는 능력을 구비한다. 따라서, 유효면적이 큰 광섬유도 장거리에 걸친 큰 통신용량의 WDM 네트워크용으로 우수한 후보가 된다.

### 배경기술

세그먼트 코어(segmented core)를 갖는 광섬유도 큰 유효면적을 제공할 수 있는 한편, 비선형 광학적 효과를 제한할 수 있다. 미국특허출원 제2002/0044755호는, 동작범위에 걸쳐 실질적으로 평평한 분산 기술기와 함께,  $45\mu\text{m}^2$  보다 더 큰, 비교적 큰 유효면적을 갖는 단일모드 광섬유를 개시하고 있다. 상기 개시된 광섬유는 세그먼트 코어 굴절률 프로파일(index profile)을 포함한다.

미국특허 제6,212,322호는 세그먼트 코어 굴절률 프로파일, 1530nm에서 양의 총 분산, 및  $60\mu\text{m}^2$  보다 더 큰 유효면적을 갖는 광섬유를 개시하고 있다.

이러한 장거리 통신링크와 같은 광학 시스템에서, 광섬유는 통상적으로 한쪽 광섬유 길이에서 또 다른 광섬유 길이로 광을 전송하기 위한 연이은 광경로를 제조하기 위해 함께 연결되는 것이 필요하다. 종종, 연결된 광섬유들은 전송 광섬유가 분산-보상 광섬유(dispersion-compensating fibre)와 결합되는 광경로의 경우에서와 같이 다른 타입으로 된다. 또한, 광섬유의 단부가 증계기(repeater), 데이터 송신기 또는 전력계기(power meter)와 같이 종단에 연결되는 것이 필요하다. 2개의 광섬유 또는 2그룹의 광섬유의 연결을 일반적으로 접속(splice)이라 한다. 2개의 광섬유가 접속될 때, 접속점을 가로지르는 광출력에서의 손실, 즉, 접속손실(splice loss)이 발생할 수 있다. 2개의 다른 광섬유 타입을 함께 접속함으로써, 즉, 하이브리드 접속으로 모드 필드 지름(mode field diameter, MFD)과 광섬유의 기하학적 불일치(mismatch)로 인해 접속손실이 높아질 수 있다. 동일하지만 길이가 다른 2개의 광섬유를 접속할 때조차도, 즉 동질의 접속(homogeneous splicing)일 때에도, 광섬유 코어의 오정렬과 코어/클래드 동심도(concentricity) 또는 광섬유의 꼬임(curl)과 같은 광섬유의 고유 파라미터로 인해 접속부분에 걸쳐서 광출력이 손실될 수 있다.

광섬유의 꼬임은 코팅되지 않은 광섬유의 특정한 길이에 걸친 고유 곡률이며, 광섬유 축 주위로 지지되지 않은 광섬유 단부를 회전시키고 수평면으로부터의 편향을 측정함으로써 측정된다. 일반적으로 마이크로미터로 측정되는 광섬유 편향은 대개 미터로 표현되는 곡률 반경으로 변환된다. 광섬유의 꼬임은 코어가 클래딩 유리 영역 및 클래딩 직경내의 중심에 얼마나 적절히 있는지를 정의하는 코어/클래드 동심도와 함께 접속성능에 대한 중요 파라미터라고 여겨진다.

많은 기술들이 수년에 걸쳐 접속손실의 유해한 효과를 제한하도록 개발되었다. 통상적으로 사용되는 2가지 기술로는 광섬유 단부들을 같이 용융하는 융합접속(fusion splicing) 및 광섬유 단부를 함께 유지하기 위해 기계적 결합장치를 사용하는 기계적 접속(mechanical splicing)이다. 일반적으로 융합접속에 의해 단일모드 광섬유의 영구결합이 수행된다.

NZD 광섬유는 일반적으로 표준 단일모드 광섬유보다 더 복잡한 굴절률 프로파일(refractive index profiles, RIPs)로 제조된다. RIP는 광섬유 반경에 따른 유리 굴절률의 변화를 나타낸다. 더 복잡한 물리적 설계로 인해, NZD 광섬유는 접속조건 및 절차와 같은 임계 파라미터들에 의해 더 영향받는 것으로 생각된다. NOC/EC 2000에서 발표한 엠. 애드콕스(M. Adcox)의 "*Splicing and fiber assembly compatibility for non-zero dispersion-shifted fiber and standard single-mode fiber*"에는 능동정렬 접속장치(active alignment splicer)를 사용한 단일모드 광섬유 및 NZD 광섬유에 대한 접속연구 내용이 개시되어 있다. 접속손실은 표준 단일모드 광섬유에 비하여 NZD 광섬유에 접속할 때 단부각(end angle)을 분할하는데 더 민감하다고 한다. IWCS proceedings, p.891(1998)에 출간된 엠.이. 화이트(M.E. White) 및 에스.에이. 쿠퍼(S.A. Cooper)의 "*Splice loss in non-zero dispersion-shifted fibres*"에는 9.48 내지  $9.92\mu\text{m}$  사이의 MFD를 갖는 코닝(Corning)사가 제조한 LEAF® 광섬유에 대한 접속손실을 보고하고 있다. LEAF® 광섬유는 다른 NZD 광섬유 설계보다 더 낮은 접속손실을 능동정렬 시스템에 제공한다고 한다.

큰 유효면적과 낮은 접속손실을 가지게 설계된 NZD 광섬유가 에스. 인 등의 (S. Yin et al). Optics Communications 177(2000), p.225, "A new design for non-zero dispersion-shifted fiber(NZ-DSF) with a large area over  $100\mu\text{m}^2$  and low bending and splice loss"에 개시되어 있다. 종래 단일모드 광섬유를 갖는 접속에 대한 접속손실 계산이 보고되어 있다.

광이 광섬유를 따라 이동할 때 전송대역에서 신호 감쇠의 최소화는 광섬유의 설계 및 제조에서 중요한 이슈 중 하나이다. 흡수 및 레이라이 산란(Rayleigh scattering)이 신호손실의 2가지 주요원인이다. 전송손실은 광섬유모재(preform)를 가열중에 인출함으로써 광섬유를 제조할 때 상기 광섬유에 가해지는 인장세기에 의해 크게 영향을 받는다. 인출동안, 광섬유모재는 소정의 인출 인장세기를 달성하기 위해 최적 온도로 가열된다.

타지마 케이(Tajima K.)의 "Low loss optical fibers realized by reduction of Rayleigh scattering loss", OFC '98 Technical Digest, p.305는  $\text{GeO}_2\text{-SiO}_2$  코어 단일모드 광섬유에서 인출 온도를 증가시킴과 함께 레이라이 산란계수도 증가함을 보고하고 있다. 비교적 저온, 즉  $1800^\circ\text{C}$ 에서 인장세기를 증가함이 없이 레이라이 산란계수는  $0.78\text{dB/km}\cdot\mu\text{m}^4$ 가 되는 것으로 발견되었다.

미국특허 제6,427,044호는 상대 굴절률의 최대값  $\Delta_{\text{max}}$ 이 적어도 0.8%인 Ge-도핑된 코어를 포함하는 광섬유를 개시하고 있다. 코어가 고농도의  $\text{GeO}_2$ 로 도핑되는 광섬유의 경우,  $\text{GeO}_2$  도핑으로 인한 레이라이 산란손실의 증가가 문제가 될 수 있다. 1.5% 및 2.5%의  $\Delta_{\text{max}}$ 를 갖는 세그먼트 코어 광섬유에 대해 13에서  $28.5\text{kg/mm}^2$ 로 인출 인장세기가 증가함에 따라 전송손실에서의 감소가 보고되었다.  $\text{GeO}_2$  도핑으로 인한 손실을 줄이기 위해, 인출 인장세기가 증가되어야만 하는 것이 제안되었다.

미국특허출원 제2001/0046358호는 각각 양 및 음의 색분산을 갖는 제 1 및 제 2 부분을 구비하고, 대안으로 분산 관리를 위해 길이방향으로 배치되는, F 도핑된 코어 세그먼트 및 F 도핑된 클래딩 영역을 갖는 세그먼트 코어 광섬유를 개시하고 있다. 양 및 음의 분산 부분은 90g에서 40g의 길이방향으로 인출 인장세기를 변경시킴으로써 달성된다.

### 발명의 상세한 설명

$\text{GeO}_2$  또는 다른 굴절률 상승 도판트로 도핑함으로써 제조된 광섬유의 코어와 클래딩 사이의 굴절률 차가 광섬유에서의 조성물 변화에 의해 야기된 열팽창계수의 반경방향 변화로 인한 내부 스트레스를 유발할 수 있다. 내부 스트레스는 또한 광섬유에서 코어와 클래딩 사이의 점성도 불일치로 인해 인출공정동안 형성된다. 내부 스트레스는 냉각후 광섬유에 동결 고정(frozen-in)되며 최종 굴절률에서 영구적인 변화를 유발할 수 있다. 점성도 불일치로 인한 내부 스트레스는 가해진 인출 인장세기에 비례한다.

제품사양내의 광섬유 제조동안 공정조건에서의 작은 변화로 주어진 범위내에 변할 수 있는 물리적 및 기하학적 파라미터를 갖는 광섬유가 제조된다. 따라서, 제품사양에서 2개의 광섬유의 접속은 기하학적 또는 MFD 불일치에 의해 영향받을 수 있다. 다른 타입의 광섬유의 접속에 관해서, 이러한 타입의 접속을 하이브리드 접속(hybrid splicing)이라 한다.

융합접속과 같은 영구적인 접속을 위한 접속방법으로는 일반적으로 유리를 연화시키고 상기 유리가 흐르게 할 정도로 충분히 높은 온도로, 함께 연결되는, 광섬유 단부들을 가열시키는 것을 포함한다. 본 발명자는 가열로 접속점 부근 영역에서, 즉, 가열에 의해 영향받는 영역에서 광섬유의 RIP의 변형이 유발될 수 있음을 관찰하였다. 본 발명자는 비교적 큰 인장세기로 인출되었던 광섬유에 접속후 RIP의 극적인 변형이 나타났음을 발견하였다. 반대로, 비교적 낮은 인장세기로 인출된 광섬유는 접속후 RIP 변화가 줄어든 것으로 나타났다.

본 발명자는 접속점 부근 영역에서 광섬유의 동결고정된 스트레스가 가열동안 적어도 부분적으로 완화되어, 이에 의해 융합접속후 RIP 변화를 야기한 것으로 추정한다. RIP 변화가 국부적이면, 즉, 접속점 부근 광섬유 길이부분에 있으면, 접속된 광섬유는 상기 광섬유를 따른 RIP에서의 차로 인해 광학적으로 불균일하게 되며, 이로써 내부 광반사 또는 분산으로 인한 광손실을 유발한다. 본 발명자는 비교적 낮은 인출 인장세기가 광섬유에서의 동결고정된 스트레스를 줄이고 따라서 접속후 RIP 변화를 제한한다고 생각한다.

광섬유에서 접속손실을 줄이기 위해, 본 발명자는 인출 인장세기를 150g 보다 크기 않게, 바람직하게는 100g 보다 크기 않아야 함을 발견했다. 가장 바람직한 실시예에서, 인출 인장세기는 60g 내지 100g 사이에 포함된다.

본 발명의 광섬유는 코어영역과 외부 클래딩 영역을 가지며, 상기 코어영역은 세그먼트 코어 타입의 RIP를 가지고, 각 세그먼트는 특정한 굴절률 프로파일을 갖는다. 코어 RIP는 3개의 코어 세그먼트와 하나의 내부 클래딩 세그먼트를 구비한다. 특히, 광섬유 코어는 중심 세그먼트, 상기 중심 세그먼트에 대한 제 1 환형 세그먼트, 상기 제 1 환형 세그먼트에 대한 제 2 환형 세그먼트 및 상기 제 2 환형 세그먼트를 둘러싸는 내부 클래딩 세그먼트를 포함한다. 외부 클래딩 영역에 대한  $i$  번째 세그먼트의 굴절률 %차, 즉, 굴절률 델타  $\Delta_i\%$ 는 본 명세서에서 식(1)로 정의된다:

$$\Delta_i\% = 100s \frac{n_i - n_c}{n_c}$$

여기서,  $n_i$ 는  $i$ 번째 세그먼트의 최대 굴절률이고  $n_c$ 는 기준영역의 굴절률로서, 상기 기준영역은 일반적으로는 거의 도프되지 않은 실리카 유리로 제조된 균일한 외부 클래딩 영역으로 간주된다. 공지된 형태의 세그먼트, 예컨대, 가우시안 타입 세그먼트(Gaussian type segment) 또는 계단형 굴절률 세그먼트(step-index segment)는 굴절률 델타를, 그리고 필요하면 중심 반경 또는 곡선폭과 같은 하나 이상의 다른 파라미터를 특징으로 할 수 있다. 일반적으로, 세그먼트의 각 점은 연관된 상대 굴절률을 갖는다.

각각의 코어 세그먼트는 음이 아닌 상대 굴절률을 가지며, 중심 세그먼트의 굴절률 델타  $\Delta_0\%$ 는 다른 세그먼트의 상대 굴절률보다 더 크다. 따라서, 굴절률 델타  $\Delta_0\%$ 는 광섬유의 최대 상대 굴절률  $\Delta_{\max}\%$ 에 해당한다. 제 2 환형 세그먼트의 굴절률 델타  $\Delta_2\%$ 는 제 1 환형 세그먼트의 굴절률  $\Delta_1\%$ 보다 더 크다. 코어 세그먼트의 굴절률 델타 사이의 관계는

$$\Delta_0\% > \Delta_2\% > \Delta_1\% \geq 0,$$

$$\Delta_2\% > \Delta_3\% \geq 0$$

이며,  $\Delta_3\%$ 는 내부 클래딩 세그먼트의 굴절률 델타이다.

접속손실이 인출 인장세기와 밀접하게 관련되는 것이 본 발명자에 의해 발견되었지만, 광섬유를 따른 신호 감쇠와 같이 다른 중요한 광학적 성질들도 또한 인장세기에 따른다. 본 발명자는 낮은 신호 감쇠를 달성하기 위해 코어와 클래딩 사이의 굴절률에서 양의 최대 차, 즉, 최대 상대 굴절률  $\Delta_{\max}\%$ 가 인출 인장세기에 따른 소정의 값보다 더 낮아야 한다는 것을 알게되었다. 본 발명자는  $\Delta_{\max}\%$ 가 200g 보다 크기 않는 인장세기로 인출된 광섬유에 대해 많아야 약 0.84%이고 150g를 초과하지 않는 인장세기에 대해서는 많아야 약 0.80%이어야 함을 발견했다. 100g보다 크기 않는 인출 인장세기에 대해,  $\Delta_{\max}\%$ 는 바람직하기로는 많아야 약 0.73%이어야 한다. 특히, 약 150-200g 범위내의 인출 인장세기에 대해,  $\Delta_{\max}\%$ 는 바람직하게는 약 0.80% 내지 0.84%이어야 한다; 약 100-150g의 범위내의 인장 인출세기에 대해,  $\Delta_{\max}\%$ 는 바람직하게는 약 0.73% 내지 0.80%이어야 한다; 약 60g 내지 100g의 범위내의 인장 인출세기에 대해,  $\Delta_{\max}\%$ 는 바람직하게는 약 0.64% 내지 0.73%이어야 한다.

바람직하게는 약 1430 내지 1510nm에 포함되는 0 분산 파장  $\lambda_0$ 를 갖는 NZD 광섬유를 얻기 위해 본 발명의 광섬유의 코어 파라미터가 선택된다. 본 발명자는 200g보다 크기 않는 인장세기로 인출된 세그먼트 코어 NZD 광섬유를 얻기 위해, 중심 세그먼트는 약 0.64% 내지 0.84% 범위내의 굴절률  $\Delta_0\%$ 을 가져야 하며, 제 2 환형 세그먼트의 중심반경과 폭은 각각 약 5.5-7.5 $\mu$ m 및 1.7-3.0 $\mu$ m 범위내에 있어야 한다. 바람직하기로, 150g보다 크기 않는 인장세기로 인출된 광섬유에 대해, 외부링의 중심반경은 약 6.7 내지 7.5 $\mu$ m 범위내이어야 한다.

100g보다 크지 않은 인출 인장세기에 대해,  $\Delta_0\%$ 는 바람직하게는 약 0.64% 내지 0.73% 범위내이어야 한다. 더 바람직하기로, 100g보다 크지 않은 인장세기로 인출된 광섬유에 대해, 외부링의 중심반경은 약 7.1 내지 7.5 $\mu\text{m}$  범위내이어야 한다.

인출 인장세기의 감소는 통상적으로 고로의 온도를 일반적으로 1900 $^{\circ}\text{C}$  이상 온도까지 증가시키는 것을 의미한다. 본 발명자는 비교적 높은 인출온도가 비가교산소(non-bridging oxygen) 중심 및 퍼록시라디칼(peroxy radical) 결합과 같은 광섬유 재료에서의 구조적 결함을 증가시키도록 야기할 수 있음을 인식하였다. 광섬유에 침투한 수소는 이들 결합들과 반응할 수 있고 광섬유 성능에 유해한 하이드록실기(hydroxyl group)를 만들 수 있다.

본 발명자는 광섬유의 수소 투과율을 감소시키기 위해 굴절률 델타  $\Delta_3\%$ 가 0.02% 내지 0.04%로 이루어지는 비교적 낮은 농도의 게르마늄으로 광섬유의 내부 클래딩을 도핑하는 것이 이점적임을 주목하였다. 더 바람직하기로, 내부 클래딩의 굴절률은 약 0.021% 내지 0.027% 범위이다.

광섬유의 광섬유모재는 바람직하게는 약 9 내지 약 16m/s로 구성되는 속도로 인출된다.

바람직한 실시예에서, 광섬유는 굴절률  $\Delta_0\%$ 가 0.64% 내지 0.80% 범위이며, 중심반경범위가 5.5 내지 7.5 $\mu\text{m}$ 이고, 절반 높이에서의 폭  $w_0$ 가 3.5 $\mu\text{m}$ 에서 4.3 $\mu\text{m}$ 인 중심 세그먼트; 굴절률 델타  $\Delta_1\%$ 가 약 0.1% 값보다 크지 않는, 바람직하게는 많아야 0.07%인 제 1 환형 세그먼트; 굴절률 델타  $\Delta_2\%$ 는 0.11% 내지 0.17% 범위이고, 중심반경  $r_2$ 가 5.5 내지 7.5 $\mu\text{m}$ 이며, 절반 높이에서의 폭  $w_2$ 는 약 1.7 $\mu\text{m}$ 에서 3.0 $\mu\text{m}$ 인 제 2 환형 세그먼트; 및 굴절률 델타  $\Delta_3\% \geq 0$ 인 내부 클래딩 세그먼트를 구비한다.

이 실시예의 부분에서, 외부링은 알파( $\alpha$ ) 프로파일을 갖는다. 바람직한 알파 프로파일은  $\alpha$ 가 약 4 내지 약 7의 범위인 경우이다.

이 실시예의 또 다른 부분에서, 광섬유 코어는 0.02% 내지 0.04%, 바람직하게는 0.021% 내지 0.027%로 구성되는 양의 굴절률 델타  $\Delta_3\%$ 를 갖는 제 2 환형 세그먼트에 인접한 내부 클래딩 세그먼트를 포함한다.

이 코어 구조는 2.0에서 8.5ps/nm/km 범위내에 광섬유의 1550nm에서 양의 색분산 D와, 0.075 내지 0.1ps/nm<sup>2</sup>/km 미만의 1550nm 범위에서의 분산 기울기 S를 갖는 광섬유를 형성한다. 바람직하기로, RIP는 약 60 내지 90 $\mu\text{m}^2$ 의 유효면적  $A_{\text{eff}}$ 를 형성하도록 선택된다. 0 분산은 바람직하게는 약 1430 내지 1510nm 범위내이다.

### 도면의 간단한 설명

도 1은 본 발명의 실시예에 따른 광섬유 인출 시스템을 도시한 개략도이다;

도 2는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 세그먼트 코어 광섬유의 굴절률 프로파일(RIP)의 도면이다;

도 3은 공지된 세그먼트 코어 광섬유의 RIP의 도면이다;

도 4는 도 2의 광섬유 및 도 3의 광섬유의 동일한 접속에 대한 인출 인장세기의 함수로서 1550nm에서의 접속손실을 도시한 그래프이다; 그리고

도 5는 도 2의 다른 광섬유들 및 도 3의 광섬유들의 하이브리드 접속에 대한 인출 인장세기의 함수로서 1550nm에서의 접속손실을 도시한 그래프이다.

### 실시예

광섬유모재 미가공품(preform blank)로부터 광섬유를 인출하였다. 바람직하게는 외부 기상증착(outside vapour deposition, OVD)에 의해 광섬유모재를 생산하였다. 첫번째 단계에서, 바람직하게는 알루미나(alumina)와 같은 세라믹 재료로 제조된 회전하는 원통형 맨드릴(cylindrical mandrel)상에 유리입자를 증착시켰다. 유리입자는 주로 실리콘 옥사

이드( $\text{SiO}_2$ )의 굴절률을 변화시키는 게르마늄 옥사이드( $\text{GeO}_2$ )와 같은 다른 화합물들로 도핑된 실리콘 옥사이드( $\text{SiO}_2$ )를 포함한다. 소정의 RIP를 얻기 위해, 예를 들어, 도판트의 농도 또는 타입을 변경함으로써 증착동안 반응물 유량을 변화시켰다. 그런 후, 수트 광섬유모재(soot preform)에 중심구멍을 남겨두고 맨드릴을 제거하였다. 상기 수트 광섬유모재를 탈수시킨 후 궁극적으로는 광섬유의 코어와 클래딩의 안쪽 부분(이하 내부 클래딩이라 함)을 형성하는 단단한 코어 미가공품을 얻기 위해 소결시켰다. 수트 광섬유모재로부터의 수산화물 이온 또는 물분자들을 제거하기 위해  $\text{Cl}_2$ 를 포함하는 불활성 가스 분위기에서 탈수시켰다. 맨드릴을 제거한 후에 상기 구멍의 직경보다 더 작은 직경의 중심 구멍을 갖는 단단한 코어 미가공품을 고로에 배치하고 한쪽 하단을 용융시켰다. 미국특허 US 4,810,276에 설명된 과정과 유사한 과정으로, 상기 코어 미가공품을 가열하는 동안, 중앙구멍을 비웠고 이로 인해 구멍의 벽이 붕괴하도록 하였다. 용합된 유리재료는 바람직하게는 WO 01/49616에 설명된 타입의 인출장치에 의해 아래방향으로 잡아당겨지는 원통형 신장부재를 형성하면서 냉각되었다. 잡아당겨짐으로써 만들어진 신장부재를 복수의 로드(rods)로 절단하였으며, 상기 로드를 이하 코어 로드(core rod)라고 한다. 각각의 코어 로드는 궁극적으로 오버 클래딩 또는 외부 클래딩을 형성하는 유리 수트의 화학증착을 위한 기관으로서 역할을 한다. 이러한 증착공정은 수트 광섬유모재를 얻기 위해 주로  $\text{SiO}_2$ 를 포함하는 코어 로드 유리입자상에 증착시키는 것을 포함한다. 상기 코어 수트 광섬유모재의 유리화(vitrification)를 위해 실행된 공정과 유사한 공정으로 수트 광섬유모재를 탈수시키고 강화시켰다. 광섬유를 형성하기 위해 상기 광섬유모재를 연이어 인출하였다.

본 실시예에서, OVD 공정에 의해 광섬유모재 제조를 실행하였으나, 본 발명은 OVD 공정에 의해 제조된 광섬유모재에 국한되지 않는 것으로 이해되어야 한다. 광섬유모재는 또한 기상축증착(vapour axial deposition, VAD), 변형된 화학기상 증착(MCVD), 관내 로드(rod-in-tube) 방법 또는 기타 방법들에 의해 제조될 수 있다.

도 1은 본 발명에 따른 광섬유를 제조하기 위한 예시적인 광섬유 인출타워(drawing tower)(10)를 도시한 것이다. 고로(furnace)(12), 예를 들어, 소정 온도로 유지되는 흑연 고로에 광섬유모재 미가공품(11)을 탑재하였다. 상기 고로 아래에 광섬유를 냉각시키기 위한 냉각장치(13)를 배치하였다. 냉각장치는 예를 들어 헬륨과 같은 냉각가스가 광섬유로 분사되는 원통형 냉각장치일 수 있다. 광섬유 외경의 연속한 모니터링을 위해 고로 아래에 직경 센서(20)가 제공될 수 있다. 대표적인 광섬유 직경은 약 125 $\mu\text{m}$ 이다. 그런 후 코팅 다이(coating die), 예를 들어, 우레탄-아크릴레이트 재료를 포함하는 저장용기(14a)와, 경화장치(curing unit)(14b), 예를 들어 상기 코팅 다이를 가교시키기 위한 UV광 오븐(oven)을 구비하는 코팅장치(14)에 의해 제 1 코팅층으로 상기 광섬유를 코팅시켰다. 저장용기(15a) 및 경화장치(15b)를 포함하는 제 2 코팅장치(15)가 상기 광섬유상에 제 2 코팅층을 형성한다. 코팅장치의 하류에 트랙터 장치(tractor mechanism)(19)를 배치하였다. 트랙터 장치는 가열된 광섬유모재 미가공품으로부터 광섬유를 인출하고 스푼(미도시)상에 상기 광섬유를 감는다. 바람직하게는 코팅되지 않은 광섬유의 인장세기를 측정하기 위해 인출 고로 아래에 인장계기(tension meter)(16)를 배치하였다. 광섬유 방적용 방적장치(17)가 코팅장치 뒤에 선택적으로 배치될 수 있다.

인출조건은 고로의 온도, 인출 인장세기 및 광섬유 인출속도에 의해 대부분 결정된다. 인출조건을 조절하기 위해, 고로 온도와 인장세기 또는 인출속도 사이의 피드백 루프가, 예를 들어, 인장계기 및/또는 직경계기(diameter meter) 및 고로 내부의 고온계(pyrometer)를 사용함으로써 실행될 수 있다.

본 발명의 광섬유는 바람직하게는 약 1430 및 1510nm 사이로 구성된  $\lambda_0$ 를 갖는 NZD 타입이다. 상기 광섬유는 150g보다 더 크지 않는 인장세기로 광섬유를 인출함으로써 장거리 통신을 가능하게 하도록 충분히 낮은 감쇠를 갖게 설계된다. 바람직하기로, 상기 광섬유는 많아야 100g의 인출 인장세기로 낮은 감쇠와 양호한 광학적 성능을 보여야한다. RIP는 세그먼트 코어 타입이며 3개의 코어 세그먼트와 하나의 내부 클래딩 세그먼트를 구비한다. 모든 세그먼트들은 음이 아닌((non-negative) 굴절률을 가지고 중심 세그먼트는 다른 세그먼트의 굴절률보다 더 크고, 따라서 최대 굴절률  $\Delta_{\text{max}}\%$ 에 해당하는 상대 굴절률  $\Delta_0\%$ 를 가진다.

도 2의 도면은 본 발명에 따른 프로파일 그룹의 RIP를 도시한 것이다. RIP는 3개의 세그먼트(21, 22 및 23)와 내부 클래딩(24)을 포함한다. RIP는 하기 식으로 표현될 수 있다:

$$\Delta n(r)\% = \Delta_0\%E \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{r}{\sigma_0}\right)^2\right) + \Delta_2\%E \exp\left(-\frac{1}{2}\left|\frac{r-r_2}{\sigma_2}\right|^\alpha\right) + \Delta_3\%EU(r-r_3)$$

여기서,  $\Delta_0\%$ ,  $\Delta_2\%$  및  $\Delta_3\%$ 는 각각 거의 코어 중심선( $r_0 \sim 0$ )에 중심을 둔 중심 세그먼트, 제 2 중심 세그먼트, 즉, 외부 링 및 내부 클래딩의 굴절률이다.  $U(r-r_3)$ 는  $r$ 이 실제로 코어 로드의 외부 에지까지 연장되며(도 2의 예에서, 외부 에지는  $10.5\mu\text{m}$ 이다),  $r \geq r_3$ 에 대해서는 1이고  $r < r_3$ 에 대해서는 0인 유니타리(unitary) 함수이며, 여기서,  $r_3$ 는 내부 클래딩의 내부 반경이고 대략 외부 링  $r_2 + \sigma_2$ 의 외부 반경에 해당한다. 중앙 세그먼트는 가우시안으로 설계된 반면에, 제 2 환형 세그먼트는 2보다 더 큰 차수  $\alpha$ 의 슈퍼 가우시안으로 설계되었다. 반경  $r_2$ 는 외부 링의 중심 또는 평균반경이다;  $\sigma_0$ 와  $\sigma_2$ 는 각각 중앙 세그먼트와 외부 링에 대한 곡선의 산포량(spread)이다. 이러한 RIP 타입에 대해,  $\Delta_1\%$ 는 0.1%보다 크지 않게, 바람직하게는 0.07%보다 크지 않게 유지된다. 프로파일 모델링으로부터,  $\Delta_1\%$ 가 주어진 범위내로 유지되는 경우 상기 프로파일에 상당한 영향을 끼치지 않는 것으로 나타난다. 따라서,  $\Delta_1\%$ 의 작은 음의 값은 광섬유 성질에 영향을 끼치는 것으로 예상되지 않는다.

중앙 세그먼트(21)는 약 0.64% 내지 약 0.80% 범위내의 굴절률  $\Delta_0\%$ 과 약  $3.5\mu\text{m}$  내지 약  $4.3\mu\text{m}$ 로 구성되는 절반 높이에

서 계산된 피크 폭  $w_o = 2\sigma_0\sqrt{2\ln 2}$  을 갖는다. 중앙 세그먼트를 가우시안으로 설계하였지만, 세그먼트의 프로파일 형태에서의 작은 변화들은 결과적으로 발생한 광섬유의 성질에 크게 영향을 끼치지 않을 것임을 알게 된다. 예를 들어, 적절한 굴절률 델타와 폭을 갖는 삼각형 형태의 중앙 세그먼트가 대신에 사용될 수 있다.

중앙 세그먼트(20)에 인접한 제 1 환형 세그먼트(22)는 0.1%보다 크지 않는, 바람직하게는 0.07%보다 크지 않는 음이 아닌 굴절률  $\Delta_1\%$ 을 갖는다. 제 1 세그먼트에 인접한 제 2 환형 세그먼트(23)는 또한 본 명세서에서 외부 링이라고도 하며, 약 0.11% 내지 약 0.17% 범위내에 있는 굴절률  $\Delta_2\%$ 을 갖는 반면에, 그 반경  $r_2$ 는 약  $5.5\mu\text{m}$  내지  $7.5\mu\text{m}$ 에 이른다. 외부 링은 약 4 내지 7 범위에 이르는  $\alpha$ 를 갖는 슈퍼 가우시안으로 설계되었다. 절반 높이에서 계산된 외부 링의 폭  $w_2 = 2\sigma_2(2\ln 2)^{1/\alpha}$ 은 4-7 범위의  $\alpha$ 에 대해 약  $1.7\mu\text{m}$  내지 약  $3.0\mu\text{m}$ 이다. 외부 링의 곡률산포량  $\sigma_2$ 는 약 0.8 내지  $1.4\mu\text{m}$ 이다.

외부 링의 프로파일 형태에서 작은 변화들은 광섬유 성질에 주목할만한 영향을 끼치지 못하는 것으로 이해되고 있다. 예를 들어, 외부 링은 계단형 프로파일(step-lime profile)로 설계될 수 있다.

내부 클래딩 세그먼트(24)는  $\Delta_2\% > \Delta_3\% \geq 0$ 이도록 굴절률 델타  $\Delta_3\%$ 를 갖는다. 바람직하기로, 내부 클래딩 세그먼트(24)는 약 0.02% 내지 0.04%, 더 바람직하게는 0.021% 내지 0.027%에 이르는 양의 굴절률  $\Delta_3\%$ 를 갖는다. 광섬유의 물에 대한 투과율을 감소시키기 위해 증가된 내부 클래딩 영역이 코어 설계에 포함될 수 있다. 바람직하기로, 내부 클래딩의 외부 반경과 외부 링의 외부 반경 사이의 거리가  $r_2 + \sigma_2$ 로 취해지는 내부 클래딩의 폭은 약  $2-4\mu\text{m}$  범위로 구성된다. 계단형 내부 클래딩으로부터의 작은 편차들이 결과적으로 발생한 광섬유의 광성질을 변경시키지 않는 것으로 이해되고 있다. 예를 들어, 약간 만곡된 계단형 프로파일도 내부 클래딩 세그먼트에 대해 고려될 수 있다.

굴절률 프로파일에서 딥(dip)은 광섬유 코어의 중심선에 나타날 수 있으며, 상기 딥은 주로 탈수 및 경화과정 동안 발생하는 도판트의 확산에 적어도 부분적으로 기인한다.

도 2의 RIP는 코어와 내부 클래딩의 굴절률을 높이기 위해 게르마늄의 양을 달리한  $\text{SiO}_2$  유리를 도핑함으로써 얻었다.

표 1은 도 2에 따른 프로파일 파라미터를 갖는, 컴퓨터 모델을 사용하여 계산된, 광섬유의 광학적 성질을 나타낸 것이다.

표 1.

1550nm에서 분산( $\text{ps}/\text{nm} \cdot \text{km}$ )	2.0 - 8.5
1550nm에서 분산 기울기( $\text{ps}/\text{nm}^2 \cdot \text{km}$ )	< 0.1
0분산 파장(nm)	1430 - 1510
1550nm에서 모드필드직경( $\mu\text{m}$ )	9.0 - 10.5
1550nm에서 유효면적( $\mu\text{m}^2$ )	60 - 90

케이블 컷오프 파장 (nm)	< 1450
1550nm에서 감쇠 (dB/km)	< 0.225

RIP형태로 제조된 광섬유는, 수소노화손실(hydrogen ageing loss)을 검사함으로써 검증된 바와 같이, 평균적으로 양호한 수소내성(hydrogen resistance)을 나타내었다.

IEC 표준 6221 TR3 Ed.1, 방법 A에 따른 마이크로벤딩(microbending)을 계산함으로써, 광섬유의 벤딩성능을 평가하였다. 본 발명에 따른 광섬유의 마이크로벤딩은 많아야 10(dB/km)/(g/mm)였다.

실시예 1

도 2에 예시된 프로파일 형태를 사용하여 광섬유를 설계하였다. 굴절률 파라미터는  $\Delta_0\%=0.071\%$ ,  $w_0=3.90\mu\text{m}$ ,  $\Delta_2\%=0.12\%$ ,  $r_2=7.21\mu\text{m}$ ,  $w_2=2.21\mu\text{m}$ ,  $a=6$ , 및  $\Delta_3\%=0.021\%$ 였다. RIP는 약 90g의 인출 인장세기로 형성될 수 있다. 이러한 프로파일을 갖는 광섬유의 광학적 성질이 표 2에 주어진다.

표 2.

1550nm에서 분산 (ps/nm · km)	5.5
1550nm에서 분산 기울기 (ps/nm <sup>2</sup> · km)	0.073
0분산 파장 (nm)	1476
1550nm에서 모드필드직경 ( $\mu\text{m}$ )	9.5
1550nm에서 유효면적 ( $\mu\text{m}^2$ )	71
케이블 컷오프 파장 (nm)	1230
1550nm에서 마이크로벤딩 (dB/km)(g/mm)	5

실시예 2

도 2에 예시된 프로파일 형태를 사용하여 광섬유를 설계하였다. 굴절률 파라미터는  $\Delta_0\%=0.064\%$ ,  $w_0=4.05\mu\text{m}$ ,  $\Delta_2\%=0.12\%$ ,  $r_2=7.21\mu\text{m}$ ,  $w_2=2.21\mu\text{m}$ ,  $a=6$ , 및  $\Delta_3\%=0.021\%$ 였다. RIP는 약 90g의 인출 인장세기로 형성될 수 있다. 이러한 프로파일을 갖는 광섬유의 광학적 성질이 표 3에 주어진다.

표 3.

1550nm에서 분산 (ps/nm · km)	7.2
1550nm에서 분산 기울기 (ps/nm <sup>2</sup> · km)	0.075
0분산 파장 (nm)	1457
1550nm에서 모드필드직경 ( $\mu\text{m}$ )	10.1
1550nm에서 유효면적 ( $\mu\text{m}^2$ )	81
케이블 컷오프 파장 (nm)	1230
1550nm에서 마이크로벤딩 (dB/km)(g/mm)	10

실시예 3

도 2에 예시된 프로파일 형태를 사용하여 광섬유를 설계하였다. 굴절률 파라미터는  $\Delta_0\%=0.71\%$ ,  $w_0=3.90\mu\text{m}$ ,  $\Delta_2\%=0.12\%$ ,  $r_2=7.21\mu\text{m}$ ,  $w_2=2.27\mu\text{m}$ ,  $a=4$ , 및  $\Delta_3\%=0.021\%$ 였다. RIP는 약 90g의 인출 인장세기로 형성될 수 있다. 이러한 프로파일을 갖는 광섬유의 광학적 성질이 표 4에 주어진다.

표 4.

1550nm에서 분산(ps/nm · km)	5.5
1550nm에서 분산 기울기(ps/nm <sup>2</sup> · km)	0.073
0분산 파장(nm)	1477
1550nm에서 모드필드직경(μm)	9.5
1550nm에서 유효면적(μm <sup>2</sup> )	71
케이블 컷오프 파장(nm)	1240
1550nm에서 마이크로벤딩(dB/km)(g/mm)	6

실시예 4

도 2에 예시된 프로파일 형태를 사용하여 광섬유를 설계하였다. 굴절률 파라미터는  $\Delta_0\%=0.77\%$ ,  $w_0=3.67\mu\text{m}$ ,  $\Delta_2\%=0.13\%$ ,  $r_2=6.71\mu\text{m}$ ,  $w_2=2.21\mu\text{m}$ ,  $\alpha=6$ , 및  $\Delta_3\%=0.021\%$ 였다. RIP는 약 150g의 인출 인장세기로 형성될 수 있다. 이러한 프로파일을 갖는 광섬유의 광학적 성질이 표 5에 주어진다.

표 5.

1550nm에서 분산(ps/nm · km)	4.0
1550nm에서 분산 기울기(ps/nm <sup>2</sup> · km)	0.076
0분산 파장(nm)	1498
1550nm에서 모드필드직경(μm)	9.25
1550nm에서 유효면적(μm <sup>2</sup> )	68
케이블 컷오프 파장(nm)	1235
1550nm에서 마이크로벤딩(dB/km)(g/mm)	4

실시예 5

도 2에 예시된 프로파일 형태를 사용하여 광섬유를 설계하였다. 굴절률 파라미터는  $\Delta_0\%=0.73\%$ ,  $w_0=3.67\mu\text{m}$ ,  $\Delta_2\%=0.13\%$ ,  $r_2=6.71\mu\text{m}$ ,  $w_2=2.21\mu\text{m}$ ,  $\alpha=6$ , 및  $\Delta_3\%=0.021\%$ 였다. RIP는 약 90g의 인출 인장세기로 형성될 수 있다. 이러한 프로파일을 갖는 광섬유의 광학적 성질이 표 6에 주어진다.

표 6.

1550nm에서 분산(ps/nm · km)	4.1
1550nm에서 분산 기울기(ps/nm <sup>2</sup> · km)	0.076
0분산 파장(nm)	1496
1550nm에서 모드필드직경(μm)	9.5
1550nm에서 유효면적(μm <sup>2</sup> )	71
케이블 컷오프 파장(nm)	1200
1550nm에서 마이크로벤딩(dB/km)(g/mm)	5

실시예 6

도 2에 예시된 프로파일 형태를 사용하여 광섬유를 설계하였다. 굴절률 파라미터는  $\Delta_0\%=0.81\%$ ,  $w_0=3.63\mu\text{m}$ ,  $\Delta_2\%=0.14\%$ ,  $r_2=5.92\mu\text{m}$ ,  $w_2=2.63\mu\text{m}$ ,  $\alpha=6$ , 및  $\Delta_3\%=0.021\%$ 였다. RIP는 약 200g의 인출 인장세기로 형성될 수 있다. 이러한 프로파일을 갖는 광섬유의 광학적 성질이 표 7에 주어진다.

표 7.

1550nm에서 분산(ps/nm · km)	4.9
1550nm에서 분산 기울기(ps/nm <sup>2</sup> · km)	0.08
0분산 파장(nm)	1489
1550nm에서 모드필드직경(μm)	9.2
1550nm에서 유효면적(μm <sup>2</sup> )	6.7
케이블 컷오프 파장(nm)	1280
1550nm에서 마이크로벤딩(dB/km)(g/mm)	4

비교 실시예

도 3의 도면은 세그먼트 코어 타입의 굴절률을 갖는 공지된 광섬유의 RIP를 도시한 것이다. 코어 굴절률 프로파일은 3개의 세그먼트, 즉, 중심 세그먼트(30), 제 1 세그먼트(31), 및 제 2 세그먼트(32)와 내부 클래딩 영역(33)을 포함한다. 중심 세그먼트(30)는 0.76%의 상대 굴절률 Δ<sub>0</sub>%과 절반 높이에서 측정된, 약 3.96μm의 전치폭 w<sub>0</sub>을 갖는다. 제 2 환형 세그먼트(32)는 약 6.5μm의 r<sub>2</sub>에 중심을 둔 약 3.2%의 상대 굴절률 Δ<sub>2</sub>%를 갖는다. 절반 높이에서 계산된 외부링의 폭 w<sub>2</sub>는 약 1.5μm이다. 내부 클래딩 영역(33)은 도핑되지 않은 SiO<sub>2</sub>의 굴절률, 즉, 외부 클래딩의 굴절률과 거의 같은 굴절률을 갖는다.

상기 주어진 값 부근에 중심을 둔 파라미터를 갖는 광섬유가 비교예로서 고려된다. 이들 광섬유의 광학적 성질이 표 8에 주어진다.

표 8.

1550nm에서 분산(nm/ps/km)	3.2 - 7.7
1550nm에서 모드필드직경(μm)	9.1 - 10.0
케이블 컷오프 파장(nm)	< 1400
평균 코어/클래딩 동심도(μm)	0.23
평균 꼬임(crul)(m)	23
1550nm에서의 감쇠(dB/km)	< 0.225

도 4는 2가지 타입의 NZD 광섬유의 인출 인장세기에 대한, 1550nm에서 측정된, 접속손실의 의존성을 도시한 그래프이다. 자체적으로 접속된, 즉 동질 접속(homogeneous splicing)의 광섬유의 적어도 10회 측정을 평균함으로써 값을 구하였다. 인출동안 고로의 온도와 인출 인장세기를 반드시 일정하게 유지하였다. 인출속도는 14m/s였다. 광섬유 코어를 광학적으로 정렬시킴으로써 광섬유들을 접속하기 위해 후지쿠라(Fujikura) 사가 제조한 FS 30 타입의 프로파일 정렬 접속장치(splicer)를 사용하였다. 접속전에, 광섬유들을 벗겼고 그런 후 초음파 알콜조에 광섬유의 단부들을 침지함으로써 광섬유를 세척하였다. 세척후에, 광섬유 단부들을 접속장치에 삽입하였고, 분할 경고 임계값을 1도로 설정함으로써 많아야 1도의 분할각도로 분할하였다. 함께 접속된 2개의 광섬유의 각 단부로부터 취한 양방향 광학적 시간영역 반사계기(optical time domain reflectometry)에 의해 1550nm에서의 접속손실을 측정하였다.

도 4에서, 흰원은 도 2에 따른 RIP를 갖는 광섬유에 대한 값들을 나타낸다. 검은원은 비교 실시예로서 RIP를 갖는 NZD 파일에 대한 값을 나타낸다(도 3). 인출 인장세기의 감소로 접속손실이 현저히 감소된다. 인출 인장세기와 접속손실의 강한 의존성이 RIP에서 이들의 차이에도 불구하고 양 타입의 광섬유에서 볼 수 있다. 그러나, 일반적으로 250g보다 크지 않은 인장세기로 인출되었던 도 3의 RIP를 갖는 광섬유는 비교적 큰 감쇠, 즉, 평균적으로 1550nm에서 적어도 0.205dB/km의 감쇠를 나타내었다. 예를 들어, 비교 실시예에서 150g로 인출된 RIP를 갖는 광섬유는 1550nm에서 0.215dB/km의 감쇠를 보였다. 반대로, 본 발명에 따른 광섬유는 많아야 150g인 인장세기로 인출될 때 낮은 감쇠를 나타내었다. 예를 들어, 0.65%의 Δ<sub>0</sub>%를 가지며 90g의 인장세기로 인출된 도 2에 도시된 타입의 RIP를 갖는 광섬유는 1550nm에서 0.195dB/km의 감쇠를 보였다.

도 4에 도시된 바와 같이, 200g 이하의 인장세기가, 동질 접속에 대해, 많아야 0.03dB의 접속손실을 야기한다. 0.02dB 미만의 접속손실이 약 150g의 값을 초과하지 않는 인장세기에 대해 구해진다.

표 9는 다른 타입들의 NZD 광섬유 접속에 대해 1550nm에서 측정된 평균 접속손실의 실험적 측정을 나타낸 것이다. 비교를 위해, 상용의 LEAF® 광섬유의 평균접속손실에 대한 측정이 주어져 있다. LEAF® 광섬유들은 광섬유 집단에서 무작위로 선택되었으며, 상기 집단에서 MFD는 9.5 내지 9.9 $\mu$ m에서 변하고, 코어/클래드 동심도는 최대값이 0.32 $\mu$ m이며, 평균적으로 0.19 $\mu$ m이고, 꼬임(curl)은 최소값이 11m이며, 평균적으로 40m이다.

표 9.

광섬유타입	접속개수	인장세기(g)	평균접속손실(dB)	표준편차	최소(dB)	최대(dB)
NZD-A	43	90	0.019	0.011	0.002	0.051
NZD-B	60	150	0.030	0.014	0.004	0.058
NZD-C	142	250	0.038	0.016	0.005	0.106
LEAF®	214	-	0.040	0.022	0.002	0.128

NZD-A 및 NZD-B 광섬유는 각각 90g 및 150g의 인장세기로 인출된 도 2에 도시된 굴절률 프로파일 형태를 갖는다. 43개의 접속들이 도 2에 따른 RIP를 갖는 무작위로 선택된 NZD-A 광섬유들과 표 1에 나타난 범위내의 광학적 파라미터들 사이에서 제조되었다. 60개의 접속들이 도 2에 따른 RIP를 갖는 무작위로 선택된 NZD-B 광섬유들과 표 1에 나타난 범위내의 광학적 파라미터들 사이에서 제조되었다. NZD-A 광섬유의 평균 꼬임값은 28m였고 평균 코어/클래딩 동심도는 0.24 $\mu$ m였다. NZD-B 광섬유의 평균 꼬임값은 24m였고 평균 코어/클래딩 동심도는 0.29 $\mu$ m였다.

NZD-C 광섬유는 도 3에 도시된 RIP에 따른 RIP를 갖는다. 접속이 NZD-C 광섬유들 사이에서 실행되며, 상기 NZD-C 광섬유들은 표 8에 주어진 범위내의 광학적 파라미터를 갖는 광섬유의 집단으로부터 무작위로 선택되었다. 250g의 인장세기로 NZD-C 광섬유를 인출하였다. 표 3의 결과는 평균 접속손실이 인출 인장세기를 감소시킴과 함께 감소되는 것을 명확히 나타내고 있다.

도 5는 도 2에 따른 프로파일 그룹의 NZD 광섬유(흰원) 및 도 3에 따른 RIP를 갖는 NZD 광섬유(검은원)의 하이브리드 접속으로서 인출 인장세기에 대한 1550nm에서의 접속손실을 도시한 도표이다. 150g 보다 크지 않는 인장세기로 인출된 광섬유에 대해 0.03dB 보다 크지 않는 접속손실이 달성된다.

(57) 청구의 범위

청구항 1.

광섬유가 인출될 수 있는 유리 광섬유모재(glass preform)를 형성하는 단계; 및

이로부터 광섬유 인출을 가능하게 하기 위해 상기 광섬유모재의 영역을 가열하는 단계와 상기 광섬유모재의 가열된 영역에, 150g 보다 크지 않는 인출 인장세기를 가함으로써 상기 광섬유모재를 광섬유로 인출하는 단계를 포함하고,

상기 광섬유모재는 코어와 상기 코어를 둘러싸는 외부 클래딩을 구비하며, 상기 광섬유모재 코어는 인출된 광섬유에서 상기 코어가 중심 세그먼트, 제 1 환형 세그먼트, 제 2 환형 세그먼트 및 내부 클래딩 세그먼트를 구비하고, 각각이 최대 굴절률 퍼센트 차  $\Delta_1\%$ 를 가지도록 구성되며, 상기 코어 세그먼트는  $\Delta_0\% > \Delta_2\% > \Delta_1\% \geq 0$  및  $\Delta_2\% > \Delta_3\% \geq 0$ 이도록 선택되고, 상기 중심 세그먼트는 0.64% 내지 0.80% 사이로 구성되는  $\Delta_0\%$ 를 가지며, 제 2 환형 세그먼트는 중심반경  $r_2$ 가 5.5 내지 7.5 $\mu$ m 범위이고, 폭  $w_2$ 가 1.7 내지 3.0d 범위인 것을 특징으로 하는 비영분산(non-zero dispersion) 광섬유 제조방법.

청구항 2.

제 1 항에 있어서,

상기  $r_2$ 가 6.7 내지 7.5 $\mu$ m 범위내에 있는 비영분산 광섬유 제조방법.

### 청구항 3.

제 1 항에 있어서,

상기 제 2 환형 세그먼트는 0.11% 내지 0.17% 범위의  $\Delta_2\%$ 를 갖는 비영분산 광섬유 제조방법.

### 청구항 4.

제 1 항에 있어서,

상기 인출 인장세기는 많아야 100g인 비영분산 광섬유 제조방법.

### 청구항 5.

제 4 항에 있어서,

상기 인출 인장세기가 60g 내지 100g 사이에 포함되는 비영분산 광섬유 제조방법.

### 청구항 6.

제 4 항 또는 제 5 항에 있어서,

상기  $\Delta_0\%$ 는 0.64% 내지 0.73% 사이에 포함되는 비영분산 광섬유 제조방법.

### 청구항 7.

제 4 항 내지 제 6 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기  $r_2$ 는 7.1 내지 7.5 $\mu\text{m}$  범위내에 있는 비영분산 광섬유 제조방법.

### 청구항 8.

제 1 항 내지 제 7 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 광섬유는 9 내지 16m/s 범위의 속도로 인출되는 비영분산 광섬유 제조방법.

### 청구항 9.

제 1 항에 있어서,

상기 제 2 환형 세그먼트의 굴절률 프로파일은 4 내지 7 범위의  $\alpha$ 를 갖는 슈퍼 가우시안(super Gaussian) 형태를 갖는 비영분산 광섬유 제조방법.

**청구항 10.**

제 1 항 내지 제 9 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 중심 세그먼트의 폭은 3.5 내지 4.3 $\mu\text{m}$ 인 비영분산 광섬유 제조방법.

**청구항 11.**

제 1 항 내지 제 10 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 내부 클래딩의 최대 굴절률  $\Delta_3\%$ 은 0.02% 내지 0.04%인 비영분산 광섬유 제조방법.

**청구항 12.**

제 11 항에 있어서,

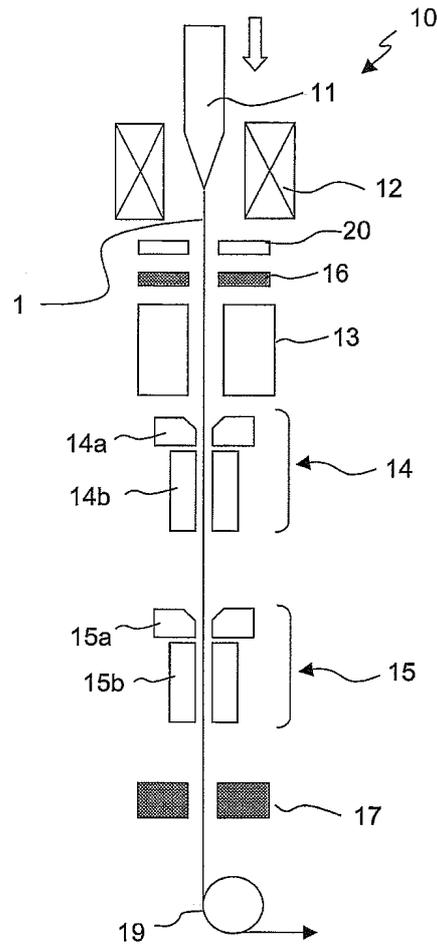
상기  $\Delta_3\%$ 는 0.021% 내지 0.027%인 비영분산 광섬유 제조방법.

**청구항 13.**

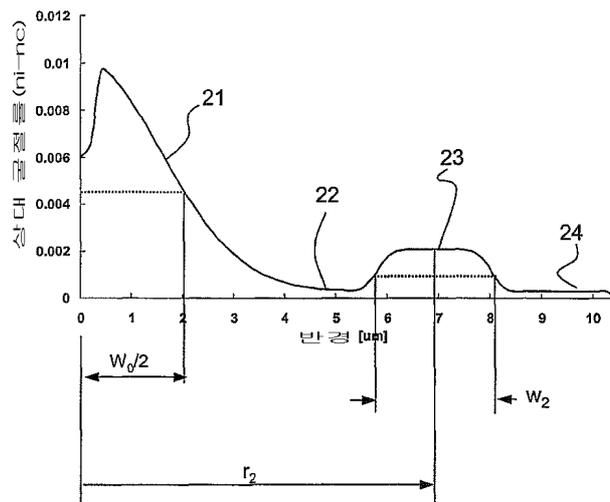
제 1 항 내지 제 12 항 중 어느 한 항에 따른 방법으로 제조된 광섬유.

도면

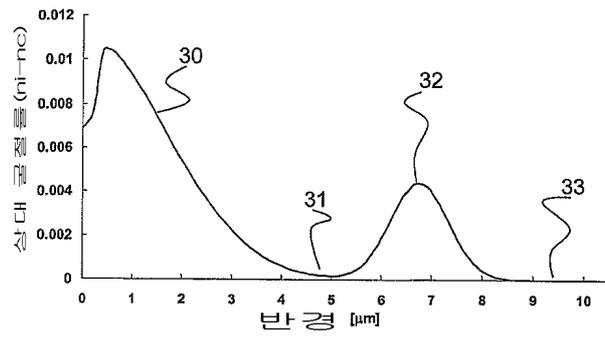
도면1



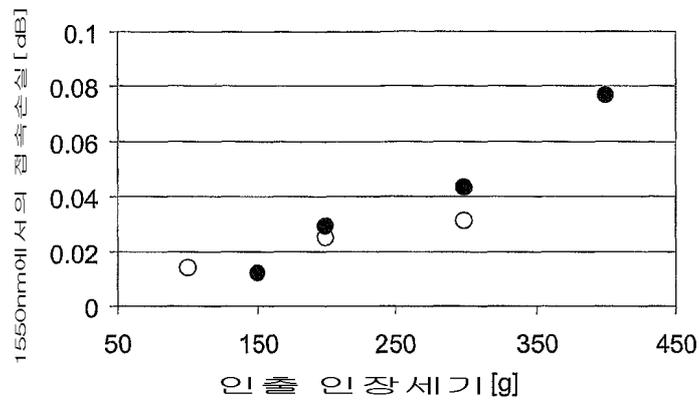
도면2



도면3



도면4



도면5

