

	(19) 대한민국특허청(KR) (12) 공개특허공보(A)	(11) 공개번호 10-2012-0139709 (43) 공개일자 2012년12월27일
(51) 국제특허분류(Int. Cl.) <i>G02B 6/028</i> (2006.01) <i>G02B 6/036</i> (2006.01)	(71) 출원인 코닝 인코포레이티드 미국 뉴욕 (우편번호 14831) 코닝 원 리버프론트 플라자	
(21) 출원번호 10-2012-7022396	(72) 별명자 빅함, 스코트 알. 미국, 뉴욕 14830, 코닝, 이. 포스 스트릿 69 북바인더, 다나 씨.	
(22) 출원일자(국제) 2011년01월26일 심사청구일자 없음	미국, 뉴욕 14830, 코닝, 다비스 로드 2675 (뒷면에 계속)	
(85) 번역문제출일자 2012년08월27일	(74) 대리인 청운특허법인	
(86) 국제출원번호 PCT/US2011/022503		
(87) 국제공개번호 WO 2011/094256 국제공개일자 2011년08월04일		
(30) 우선권주장 12/696, 189 2010년01월29일 미국(US)		

전체 청구항 수 : 총 33 항

(54) 발명의 명칭 GE가 없는 코어를 구비하고 유효 면적이 큰 섬유

(57) 요 약

일부 실시예들에 따라서, 광 도파관 섬유는:

(i) 1550 nm 파장에서 $90 \mu\text{m}^2$ 내지 $160 \mu\text{m}^2$ 인 유효 면적을 가지며, $12 \leq a \leq 25$ 인 a 값을 가지는, Ge가 없는 코어; 및

(ii) 상기 코어를 둘러싸며, 순수 실리카에 대해 %로 측정된 상대 굴절률 퍼센트 $\Delta_c(r)$ ($\Delta_c(r) = \Delta_{2\text{MIN}} \pm 0.3\%$)를 가진 클래딩을 포함하며,

상기 코어는 중심 코어 영역, 제 1 환형 코어 영역, 및 플루오린으로 도핑된 제 2 환형 영역을 포함하고,

(a) 상기 중심 코어 영역은 중심선으로부터 $0 \mu\text{m} \leq r_0 \leq 2 \mu\text{m}$ 인 반경(r_0)으로 방사상으로 외부 방향으로 향하여 연장되고, 순수 실리카에 대해 %로 측정된 상대 굴절률 퍼센트 프로파일 $\Delta_0(r)$ 을 가지고, 이때 상기 $\Delta_0(r)$ 은 $-0.1\% \leq \Delta_0(r) \leq 0.1\%$ 이며, 상기 중심 코어 영역은 최대 상대 굴절률 퍼센트 $\Delta_{0\text{MAX}}$ 를 가지며,

(b) 상기 제 1 환형 코어 영역은 상기 중심 코어 영역을 둘러싸고, 상기 중심 코어 영역에 바로 접해 위치하고, $4.8 \mu\text{m} \leq r_1 \leq 10 \mu\text{m}$ 인 외부 반경(r_1)으로 연장되고, 순수 실리카에 대해 %로 측정된 상대 굴절률 퍼센트 프로파일 $\Delta_1(r)$, 및 최소 상대 굴절률 $\Delta_{2\text{MIN}}$ 을 가지며, 이때 반경 $r = 2.5 \mu\text{m}$ 에서 측정된 상대 굴절률은:

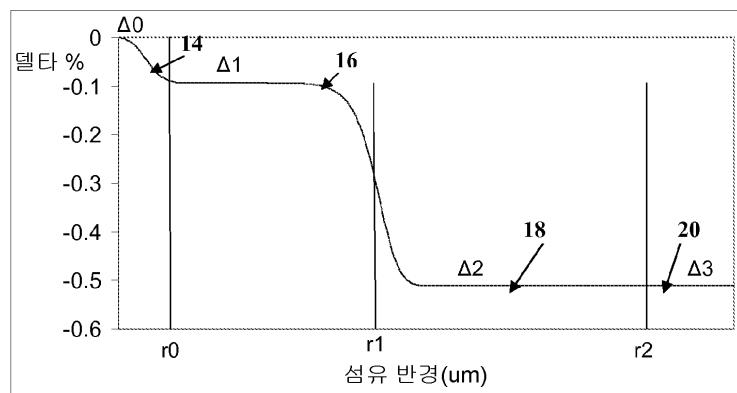
$$-0.15 \leq \Delta_1(r = 2.5 \mu\text{m}) \leq 0 \text{ 및 } \Delta_{0\text{MAX}} \geq \Delta_1(r = 2.5 \mu\text{m}) \text{이고,}$$

(c) 상기 플루오린으로 도핑된 제 2 환형 영역은 상기 제 1 환형 코어 영역을 둘러싸고, 상기 제 1 환형 코어 영역에 바로 접해 위치하고, $13 \mu\text{m} \leq r_2 \leq 30 \mu\text{m}$ 인 반경(r_2)으로 연장되고, 순수 실리카에 대해 %로 측정된 음의 상대 굴절률 퍼센트 프로파일 $\Delta_2(r)$, 및 최소 상대 굴절률 퍼센트 $\Delta_{2\text{MIN}}$ 을 가지며, 이때 상기 최소 상대 굴절률 퍼센트 $\Delta_{2\text{MIN}}$ 은:

$$\Delta_{2\text{MIN}} < \Delta_1(r = 2.5 \mu\text{m}) \text{ 및 } -0.7\% \leq \Delta_{2\text{MIN}} \leq -0.28\% \text{이며,}$$

광 섬유의 상대 굴절률 프로파일은 1550 nm 파장에서 0.175 dB/km 보다 크지 않은 감쇠를 제공하기 위해 선택된다.

대 표 도 - 도1b



(72) 발명자

리, 링-준

미국, 뉴욕 14845, 호르세헤드즈, 암브로즈 드라이브 10

미쉬라, 스니그드하라지 케이.

미국, 노스캐롤라이나 28409, 월밍تون, 스트릿 프란시스 드라이브 3509

노란, 다니엘 에이.

미국, 뉴욕 14830, 코닝, 스카이라인 드라이브 10762

탄돈, 푸쉬카

미국, 뉴욕 14870, 페인티드 포스트, 디어 크레스트 3405

특허청구의 범위

청구항 1

- (i) 1550 nm 파장에서 $100 \mu\text{m}^2$ 내지 $160 \mu\text{m}^2$ 인 유효 면적을 가지며, $12 \leq a \leq 200$ 인 a 값을 가지는, Ge가 없는 코어; 및
- (ii) 상기 코어를 둘러싸며, 순수 실리카에 대해 %로 측정된 상대 굴절률 퍼센트 $\Delta_c(r)$ ($\Delta_c(r) = \Delta_{2\text{MIN}} \pm 0.3\%$)를 가진 클래딩을 포함하며,

상기 코어는 중심 코어 영역, 제 1 환형 코어 영역, 및 플루오린으로 도핑된 제 2 환형 영역을 포함하고,

(a) 상기 중심 코어 영역은 중심선으로부터 반경(r_0)으로 방사상으로 외부 방향으로 향하여 연장되고, 순수 실리카에 대해 %로 측정된 상대 굴절률 퍼센트 프로파일 $\Delta_0(r)$ 을 가지고, 이때 상기 $\Delta_0(r)$ 은 $-0.1\% \leq \Delta_0(r) \leq 0.1\%$ 이며, 상기 중심 코어 영역은 최대 상대 굴절률 퍼센트 $\Delta_{0\text{MAX}}$ 를 가지며,

(b) 상기 제 1 환형 코어 영역은 상기 중심 코어 영역을 둘러싸고, 상기 중심 코어 영역에 바로 접해 위치하고, $4.8 \mu\text{m} \leq r_1 \leq 10 \mu\text{m}$ 인 외부 반경(r_1)으로 연장되고, 순수 실리카에 대해 %로 측정된 상대 굴절률 퍼센트 프로파일 $\Delta_1(r)$, 및 최소 상대 굴절률 $\Delta_{r1\text{MIN}}$ 을 가지며, 이때 반경 $r = 2.5 \mu\text{m}$ 에서 측정된 상대 굴절률은:

$$-0.15 \leq \Delta_1(r = 2.5 \mu\text{m}) \leq 0 \text{ 및 } \Delta_{0\text{MAX}} \geq \Delta_1(r = 2.5 \mu\text{m}) \text{이고,}$$

(c) 상기 플루오린으로 도핑된 제 2 환형 영역은 상기 제 1 환형 코어 영역을 둘러싸고, 상기 제 1 환형 코어 영역에 바로 접해 위치하고, $13 \mu\text{m} \leq r_2 \leq 30 \mu\text{m}$ 인 반경(r_2)으로 연장되고, 순수 실리카에 대해 %로 측정된 음의 상대 굴절률 퍼센트 프로파일 $\Delta_2(r)$, 및 최소 상대 굴절률 퍼센트 $\Delta_{2\text{MIN}}$ 을 가지며, 이때 상기 최소 상대 굴절률 퍼센트 $\Delta_{2\text{MIN}}$ 은:

$$\Delta_{2\text{MIN}} < \Delta_1(r = 2.5 \mu\text{m}) \text{ 및 } -0.5\% < \Delta_{2\text{MIN}} < -0.27\% \text{이며,}$$

광 섬유의 상대 굴절률 프로파일은 1550 nm 파장에서 0.175 dB/km 보다 크지 않은 감쇠를 제공하기 위해 선택되는 광 도파관 섬유.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 중심 코어 영역의 적어도 일부는 순수 실리카로 구성되는 것을 특징으로 하는 광 도파관 섬유.

청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 $\Delta_{2\text{MIN}}$ 은 $-0.5\% < \Delta_{2\text{MIN}} < -0.25\%$ 인 것을 특징으로 하는 광 도파관 섬유.

청구항 4

청구항 1에 있어서,

상기 $\Delta_1(r = 2.5)$ 은 $-0.1\% \leq \Delta_1(r = 2.5) \leq 0\%$ 인 것을 특징으로 하는 광 도파관 섬유.

청구항 5

청구항 1에 있어서

Δ_0 은 0이고($\Delta_0 = 0$), $\Delta_1(r = 2.5 \mu\text{m})$ 은 $-0.07\% \leq \Delta_1(r = 2.5 \mu\text{m}) \leq 0\%$ 이고, $\Delta_{2\text{MIN}}$ 은 $-0.5\% \leq \Delta_{2\text{MIN}} \leq -0.27\%$ 이고

고, r_2/r_1 은 $2.17 \leq r_2/r_1 \leq 5.7$ 이고, $r_2 \leq 30$ 인 것을 특징으로 하는 광 도파관 섬유.

청구항 6

청구항 1에 있어서,

상기 광 도파관 섬유는 1550 nm 파장에서 분산(D)에 의해 특징지어지며, 상기 D는 $18 \leq D \leq 25$ ps/nm/km인 것을 특징으로 하는 광 도파관 섬유.

청구항 7

청구항 1에 있어서,

상기 광 도파관 섬유는 1550 nm 파장에서 분산(D)에 의해 특징지어지며, 상기 D는 $19 \leq D \leq 23$ ps/nm/km인 것을 특징으로 하는 광 도파관 섬유.

청구항 8

청구항 1에 있어서,

상기 광 도파관 섬유는 제로 분산 파장(λ_0)에 의해 특징지어지며, 상기 λ_0 은 $1245 \text{ nm} \leq \lambda_0 \leq 1290 \text{ nm}$ 인 것을 특징으로 하는 광 도파관 섬유.

청구항 9

청구항 1에 있어서,

상기 광 도파관 섬유는 20 mm 직경의 맨드렐(mandrel) 상에 20 번 회전시키기 위해 1550 nm에서 10 dB/m 미만의 매크로벤드 손실을 가지는 것을 특징으로 하는 광 도파관 섬유.

청구항 10

청구항 1에 있어서,

상기 플루오린으로 도핑된 제 2 환형 영역은 0.01 % wt% 내지 1.6 wt%의 플루오린을 가지는 것을 특징으로 하는 광 도파관 섬유.

청구항 11

청구항 1에 있어서,

(i) 상기 Ge가 없는 코어는 $100 \mu\text{m}^2$ 내지 $160 \mu\text{m}^2$ 의 유효 면적을 가지며,

(ii) 플루오린으로 도핑된 제 2 환형 영역은 0.07 % wt% 내지 1.6 wt% 플루오린을 가지는 것을 특징으로 하는 광 도파관 섬유.

청구항 12

청구항 1에 있어서,

상기 광 도파관 섬유는 상기 코어에 500 ppm의 염소를 초과하여 가지며, 상기 클래딩에는 10000 ppm의 염소를 초과하여 가지는 것을 특징으로 하는 광 도파관 섬유.

청구항 13

청구항 1에 있어서,

상기 코어는, 중심선으로부터 $0 \mu\text{m} \leq r_0 \leq 2 \mu\text{m}$ 인 반경(r_0)으로 방사상으로 외부 방향을 향하여 연장된 중심 코어 영역을 가지고,

상기 광 도파관 섬유의 상대 굴절률 프로파일은 1550 nm에서, 0.15 dB/km 내지 0.175 dB/km의 감쇠를 제공하기 위해 선택되고,

여기서 Δ_0 은 0이고 ($\Delta_0=0$), $\Delta_1(r=2.5\mu\text{m})$ 은 $-0.07\% \leq \Delta_1(r=2.5\mu\text{m}) \leq 0\%$ 이고 r_2/r_1 은 $2.17 \leq r_2/r_1 \leq 5.7$ 이고, $r_2 \leq 30\text{ }\mu\text{m}$,

상기 광 도파관 섬유는 1550 nm 파장에서 $18 \text{ ps/nm/km} \leq D \leq 25 \text{ ps/nm/km}$ 인 분산(D), $1245 \text{ nm} \leq \lambda_0 \leq 1290 \text{ nm}$, 및 20 mm 직경의 맨드릴 상에 20 번 회전시키기 위해 1550 nm에서 10 dB/m 미만의 매크로벤드 손실을 가지는 것을 특징으로 하는 광 도파관 섬유.

청구항 14

청구항 1에 있어서,

- (i) 상기 플루오린으로 도핑된 제 2 환형 영역은 0.01 % 내지 1.6 wt%의 플루오린을 가지고,
- (ii) 상기 광 도파관 섬유는 상기 코어에 500 ppm의 염소를 초과하여 가지며, (iii) 상기 광 도파관 섬유는 상기 클래딩에 10000 ppm의 염소를 초과하여 가지는 것을 특징으로 하는 광 도파관 섬유.

청구항 15

코어가 $12 \leq a \leq 25$ 인 a 값을 가지며, 광 도파관 섬유가 $A_{\text{eff}} > 100\mu\text{m}^2$ 인 유효 면적(A_{eff})을 가지는 광 도파관 섬유.

청구항 16

청구항 15에 있어서,

상기 광 도파관 섬유는 $A_{\text{eff}} > 110\mu\text{m}^2$ 인 유효 면적(A_{eff})을 가지는 것을 특징으로 하는 광 도파관 섬유.

청구항 17

청구항 15에 있어서,

상기 광 도파관 섬유는 $A_{\text{eff}} > 100\mu\text{m}^2$ 인 유효 면적(A_{eff})을 가지며,

상기 광 도파관 섬유의 상대 굴절률 프로파일은 1550 nm 파장에서 0.16 dB/km보다 크지 않은 감쇠를 제공하기 위해 구성되는 것을 특징으로 하는 광 도파관 섬유.

청구항 18

청구항 17에 있어서,

상기 광 도파관 섬유의 상대 굴절률 프로파일은 1550 nm 파장에서 0.155 dB/km보다 크지 않은 감쇠를 제공하기 위해 구성되는 것을 특징으로 하는 광 도파관 섬유.

청구항 19

청구항 15에 있어서,

상기 광 도파관 섬유는 $A_{\text{eff}} > 100\mu\text{m}^2$ 인 유효 면적(A_{eff})을 가지며,

상기 광 도파관 섬유의 상대 굴절률 프로파일은, (i) 1550 nm 파장에서 0.16 dB/km보다 크지 않은 감쇠를 제공하고, (ii) 1520 nm 미만인 케이블 컷 파장을 제공하기 위해 구성되는 것을 특징으로 하는 광 도파관 섬유.

청구항 20

청구항 19에 있어서,

상기 케이블 컷 파장은 1450 nm보다 크지 않은 것을 특징으로 하는 광 도파관 섬유.

청구항 21

청구항 15에 있어서,

상기 광 도파관 섬유는 $A_{eff} > 120 \mu\text{m}^2$ 인 유효 면적(A_{eff})을 가지며,

상기 광 도파관 섬유의 상대 굴절률 프로파일은 21ps/nm/km보다 크지 않은 분산을 제공하기 위해 구성되는 것을 특징으로 하는 광 도파관 섬유.

청구항 22

청구항 1에 있어서,

상기 코어의 적어도 일부는 알칼리를 포함하는 것을 특징으로 하는 광 도파관 섬유.

청구항 23

청구항 22에 있어서,

상기 알칼리는 Na, K 또는 Rb를 포함하는 것을 특징으로 하는 광 도파관 섬유.

청구항 24

청구항 22에 있어서,

상기 알칼리는 20 ppm 내지 1000 중량 ppm의 범위인 K를 포함하는 것을 특징으로 하는 광 도파관 섬유.

청구항 25

청구항 13에 있어서,

상기 코어 중 적어도 일부는 알칼리를 포함하는 것을 특징으로 하는 광 도파관 섬유.

청구항 26

청구항 25에 있어서,

상기 알칼리는 Na, K 또는 Rb를 포함하는 것을 특징으로 하는 광 도파관 섬유.

청구항 27

청구항 25에 있어서,

상기 알칼리는 20 ppm 내지 1000 중량 ppm의 범위인 K를 포함하는 것을 특징으로 하는 광 도파관 섬유.

청구항 28

청구항 15에 있어서,

상기 코어 중 적어도 일부는 알칼리를 포함하는 것을 특징으로 하는 광 도파관 섬유.

청구항 29

청구항 28에 있어서,

상기 알칼리는 Na, K 또는 Rb를 포함하는 것을 특징으로 하는 광 도파관 섬유.

청구항 30

청구항 28에 있어서,

상기 알칼리는 20 ppm 내지 1000 중량 ppm의 범위인 K를 포함하는 것을 특징으로 하는 광 도파관 섬유.

청구항 31

청구항 1에 있어서,

상기 광 도파관 섬유는:

(i) 1.0 MPa 미만의 영률을 가진 1 차 코팅; 및

(ii) 1200 MPa보다 큰 영률을 가진 2 차 코팅을 더 포함하며,

상기 광 도파관 섬유는 $115 \mu\text{m}^2$ 보다 큰 유효 면적을 가지는 것을 특징으로 하는 광 도파관 섬유.

청구항 32

청구항 1에 있어서,

상기 광 도파관 섬유는 1550 nm 파장에서 21 ps/nm/km보다 크지 않은 분산(D)을 가지는 것을 특징으로 하는 광 도파관 섬유.

청구항 33

청구항 20에 있어서,

상기 광 도파관 섬유는 1550 nm 파장에서 20 ps/nm/km보다 크지 않은 분산(D)을 가지는 것을 특징으로 하는 광 도파관 섬유.

명세서

기술 분야

[0001] 본 발명은 일반적으로 광 섬유에 관한 것으로, 특히 순수 실리카 코어(pure silica core)를 가지고 감쇠가 낮고 유효 면적이 큰 광 섬유에 관한 것이다.

[0002] 관련 출원에 대한 상호 참조

[0003] 본 출원은 2010년 1월 29일에 출원된 미국 출원 제12/696,189호를 기초로 하는 우선권 주장 출원이다.

배경 기술

[0004] 광 증폭기 기법 및 파장 분할 다중 기법은 통상적으로 장거리에 대해 고전력 전송을 제공하는 통신 시스템에 필요하다. 고전력 및 장거리의 정의는 비트율, 비트 에러율, 다중 설계법, 및 가능하다면 광 증폭기도 규정된 특정 통신 시스템의 상황에서만 의미를 가진다. 고전력 및 장거리의 정의에 따라 영향을 받고 기술 분야의 통상의 기술자에게 공지된 추가적인 요인들이 있다. 그러나, 최적의 목적을 위해, 고전력이란 약 10 mW보다 큰 광 전력을 의미한다. 고전력 시스템들은 종종 자기 위상 변조(self-phase modulation), 4 파동 혼합(four-wave-mixing), 교차 위상 변조(cross-phase modulation), 및 비-선형 산란 처리(non-linear scattering processes)를 포함한 비-선형 광학 효과의 영향을 받는데, 이러한 모든 것은 고전력 시스템의 신호를 저하시킬 수 있다. 일부 적용에서, 1 mW 이하의 신호 전력 레벨은 비-선형 효과에 여전하게 민감하여, 비-선형 효과는 여전히 이러한 저전력 시스템에서 중요한 사항이 될 수 있다. 게다가, 다른 광 섬유 속성, 예를 들면 감쇠는 신호를 저하시키는 주요 원인 요인이 된다.

[0005] 일반적으로, 유효 면적(A_{eff})이 큰 광 도파관 섬유는 자기 위상 변조, 4 파동 혼합, 교차 위상 변조, 및 비-선형 산란 처리를 포함한 비-선형 광 효과의 영향을 감소시키는데, 이러한 모든 것은 고전력 시스템의 신호를 저하시킬 수 있다.

[0006] 반면에, 광 도파관 섬유의 유효 면적의 증가는 통상적으로, 섬유를 통하여 신호 전송을 감쇠시키는 매크로벤딩 유도 손실(microbending induced losses)을 초래한다. 매크로벤딩 손실은 장거리(예를 들면, 100 km, 또는 그 이상 거리)(또는 재생기들, 증폭기들, 송신기들 및/또는 수신기들 간의 거리)에 따라 상당하게 증가한다. 불행히도, 종래의 광 섬유의 유효 면적이 클수록, 매크로벤딩 유도 손실이 높아지는 경향이 있다. 또한, 감쇠는 유효 면적이 큰 섬유의 신호를 저하시키는 주요 원인 요인이 될 수 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명의 목적은 순수 실리카 코어를 가지고 감쇠가 낮고 유효 면적이 큰 광 섬유를 제공하는 것에 있다.

과제의 해결 수단

- [0008] 본 발명의 일 실시예는 광 도파관 섬유이고, 상기 광 도파관 섬유는:
- [0009] (i) 1550 nm 파장에서 약 $90 \mu\text{m}^2$ 내지 약 $160 \mu\text{m}^2$ 의 유효 면적을 가지며, $12 \leq a \leq 200$ 인 a 값을 가지는, Ge 가 없는 코어; 및
- [0010] (ii) 상기 코어를 둘러싸며, 순수 실리카에 대해 %로 측정된 상대 굴절률 퍼센트 $\Delta_3(r)$ 을 가진 클래딩 (cladding)을 포함하며,
- [0011] 상기 코어는 중심 코어 영역, 제 1 환형 코어 영역, 및 플루오린으로 도핑된 제 2 환형 영역을 포함하고,
- [0012] (a) 상기 중심 코어 영역은 중심선으로부터 반경(r_0)으로 방사상으로 외부 방향으로 향하여 연장되고, 순수 실리카에 대해 %로 측정된 상대 굴절률 퍼센트 프로파일(relative refractive index percent profile) $\Delta_0(r)$ 을 가지고, 상기 중심 코어 영역은 최대 상대 굴절률 퍼센트 $\Delta_{0\text{MAX}}$ 를 가지며,
- [0013] (b) 상기 제 1 환형 코어 영역은 상기 중심 코어 영역을 둘러싸고, 상기 중심 코어 영역에 바로 접해 위치하고, $4.8 \mu\text{m} \leq r_1 \leq 10 \mu\text{m}$ 인 외부 반경(r_1)으로 연장되고, 순수 실리카에 대해 %로 측정된 상대 굴절률 퍼센트 프로파일 $\Delta_1(r)$, 및 최소 상대 굴절률 $\Delta_{2\text{MIN}}$ 을 가지며, 이때 반경 $r = 2.5 \mu\text{m}$ 에서 측정된 상대 굴절률은:
- [0014] $-0.15 \leq \Delta_1(r = 2.5 \mu\text{m}) \leq 0$ 및 $\Delta_{0\text{MAX}} \geq \Delta_1(r = 2.5 \mu\text{m})$ 이고,
- [0015] (c) 상기 플루오린으로 도핑된 제 2 환형 영역은 상기 제 1 환형 코어 영역을 둘러싸고, 상기 제 1 환형 코어 영역에 바로 접해 위치하고, $13 \mu\text{m} \leq r_2 \leq 30 \mu\text{m}$ 인 반경(r_2)으로 연장되고, 순수 실리카에 대해 %로 측정된 음의 상대 굴절률 퍼센트 프로파일 $\Delta_2(r)$, 및 최소 상대 굴절률 퍼센트 $\Delta_{2\text{MIN}}$ 을 가지며, 이때 상기 최소 상대 굴절률 퍼센트 $\Delta_{2\text{MIN}}$ 은:
- [0016] $\Delta_{2\text{MIN}} < \Delta_1(r=2.5 \mu\text{m})$ 및 $-0.7 \% \leq \Delta_{2\text{MIN}} \leq -0.28 \%$ 이며,
- [0017] 광 섬유의 상대 굴절률 프로파일은 1550 nm 파장에서 0.175 dB/km 미만인 감쇠를 제공하기 위해 선택된다.
- [0018] 바람직하게, 본원에서 기술된 실시예들에 따라서, $\Delta_3(r) \geq \Delta_{2\text{MIN}}$ 이다. 일부 실시예들에서, $\Delta_3(r) = \Delta_{2\text{MIN}} \pm 0.3\%$ 이다. 또한, 적어도 일부의 실시예들에 따라서, r_0 은 $0 \mu\text{m} \leq r_0 \leq 2 \mu\text{m}$ 이다.
- [0019] 일부 대표적인 실시예들에 따라서, 중심 코어 영역의 적어도 일부는 순수 실리카로 구성된다.
- [0020] 추가적인 특징 및 이점은 다음의 상세한 설명에서 기술될 것이고, 다음의 상세한 설명, 청구항 및 첨부된 도면을 포함하여 본원에서 기술된 바와 같이, 이와 같은 설명은 기술 분야의 통상의 기술자에게 부분적으로 손쉽게 명확해질 수 있거나, 기술 분야의 통상의 기술자라면 본 발명을 시행함으로써 인식될 것이다.
- [0021] 이해하여야 하는 바와 같이, 상술된 일반적인 설명 및 다음의 상세한 설명 모두는 본 발명의 실시예를 나타내고, 주장하는 바와 같이 본 발명의 특성 및 특징을 이해시키려는 개요 또는 구성을 제공하려는 의도를 갖는다. 첨부된 도면은 본 발명의 추가적인 이해를 제공하기 위해 포함되고, 이러한 명세서의 일부에 병합되고 그 일부를 구성하기도 한다. 도면은 본 발명의 다양한 실시예를 도시하고, 설명과 함께, 다양한 본 발명의 원리 및 동작을 설명하는 기능을 한다.

도면의 간단한 설명

- [0022] 도 1a는 본 발명의 일 실시예의 단면도이고;
- 도 1b는 도 1a의 섬유의 대표적인 굴절률 프로파일의 개략적인 도면이고;
- 도 2-19는 본 발명의 광 섬유의 대표적인 실시예들의 굴절률 프로파일의 도면이고;
- 도 20은 하나의 대표적인 섬유 실시예의 측정된 굴절률 프로파일의 도면이고;
- 도 21은 2 개의 추가적이고 대표적인 섬유 실시예들의 굴절률 프로파일의 도면이며;

도 22는 표 4에서 주어진 예시들의 범위에서 섬유에 대하여, 모델형 LLWM 대 Microbend FOM의 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0023] 정의

[0024] "굴절률 프로파일"은 굴절률 또는 상대 굴절률과 도파관 섬유 반경 간의 관계이다.

[0025] "상대 굴절률 퍼센트"는 $\Delta\% = 100 \times (n(r)^2 - n_s^2) / 2n(r)^2$ 로 정의되고, $n(r)$ 은 별다른 말이 없는 한, 섬유의 중심선으로부터 반경 거리(r)에서의 굴절률이며, n_s 는 1550 nm의 파장에서의 실리카의 굴절률이다. 본원에서 사용되는 바와 같이, 상대 굴절률은 Δ 로 나타내고, 상대 굴절률의 값은 별다른 말이 없는 한, "%" 단위로 주어진다. 한 영역의 굴절률이 실리카의 굴절률보다 작은 경우, 상대 굴절률 퍼센트는 음이 되고, 감소된 굴절률(depressed index)을 가지는 것을 의미하고, 별다른 규정이 없는 한, 상대 굴절률이 최대 음인 지점에서 계산된다. 한 영역의 굴절률이 실리카의 굴절률보다 큰 경우, 상대 굴절률 퍼센트는 양이 되고, 상기 영역은 양의 굴절률(positive index)로 상승되거나 양의 굴절률을 가지는 것으로 의미할 수 있으며, 별다른 규정이 없는 한, 상대 굴절률 퍼센트는 상대 굴절률이 최대 양인 지점에서 계산된다. "업도편트(updopant)"는 본원에서 간주되는 바와 같이, 순수 도핑되지 않은(pure undoped) SiO₂에 대해 굴절률이 상승하려는 경향을 가진 도편트이다. "다운도편트(downdopant)"는 본원에서 간주되는 바와 같이, 순수 도핑되지 않은 SiO₂에 대해 굴절률이 낮아지려는 경향을 가진 도편트이다. 업도편트는, 업도편트가 아닌 하나 이상의 다른 도편트에 의해 수반될 시에 음의 상대 굴절률을 가진 광 섬유의 영역에서 나타날 수 있다. 이와 마찬가지로, 업도편트가 아닌 하나 이상의 다른 도편트는 양의 상대 굴절률을 가진 광 섬유의 영역에서 나타날 수 있다. 다운도편트는, 다운도편트가 아닌 하나 이상의 다른 도편트에 의해 수반될 시에 양의 상대 굴절률을 가진 광 섬유의 영역에서 나타날 수 있다. 이와 마찬가지로, 다운도편트가 아닌 하나 이상의 다른 도편트는 음의 상대 굴절률을 가진 광 섬유의 영역에서 나타날 수 있다.

[0026] 본원에서 도파관 섬유의 "분산"을 의미하는 "색 분산(chromatic dispersion)"은 별다른 말이 없는 한, 재료 분산, 도파관 분산 및 다 모드 분산(inter-modal dispersion)의 합이다. 단일 모드식 도파관 섬유의 경우에, 다 모드 분산이 제로이다. 단일 모드 도파관 섬유의 경우에, 다 모드 분산이 제로이다. 2 개의 모드 체제(two-modal regime)에서의 분산 값에서 다 모드 분산이 제로라 가정한다. 제로 분산 파장(λ_0)은 분산이 제로의 값을 가진 파장이다. 분산 기울기는 파장에 대한 분산의 변화율이다.

[0027] "유효 면적"은: $A_{\text{eff}} = 2\pi(\int f^2 r dr)^2 / (\int f^4 r dr)$ 로 정의되고, 인테그레이션 리미트(integration limits)는 0 내지 ∞ 이고, f 는 도파관에서 전파된 광에 연관된 전계의 횡 성분(transverse component)이다. 본원에서 사용되는 바와 같이, "유효 면적" 또는 " A_{eff} "는 별다른 말이 없는 한, 1550 nm의 파장에서의 광 유효 면적을 의미한다.

[0028] 용어 "α-프로파일"은 "%" 단위인 $\Delta(r)$ 의 항으로 표기되는 상대 굴절률 프로파일을 의미하고, 여기서 r 은 반경이며, $\Delta(r) = \Delta(r_0)(1 - [|r - r_0| / (r_1 - r_0)]^\alpha)$ 의 식과 같고, r_0 는 $\Delta(r)$ 이 최대가 되는 지점이고, r_1 은 $\Delta(r)\%$ 가 제로가 되는 지점이며, 그리고 r 은 $r_i \leq r \leq r_f$ 의 범위에 속하고, Δ 는 상기에서 정의되고, r_i 는 α -프로파일의 시작 지점이고, r_f 는 α -프로파일의 최종 지점이며, 그리고 α 는 실수인 지수이다.

[0029] 모드 필드 직경(mode field diameter, MFD)은 Petermann II 방법을 사용하여 측정되며, 여기서 $2w=MFD$ 이고 $w^2 = (2 \int f^2 r dr / \int [df/dr]^2 r dr)$ 이며, 인테그랄 리미트는 0 내지 ∞ 이다.

[0030] 도파관 섬유의 내굴곡성(bend resistance)은 규정된 테스트 조건 하에 유도된 감쇠에 의해 측정될 수 있다.

[0031] 굽힘 테스트(bend test)의 한 유형은 횡하중 마이크로벤드 테스트(lateral load microbend test)이다. 이는 "횡하중" 테스트라고 하며, 도파관 섬유의 규정 길이는 2 개의 평평한 판들 간에 위치한다. #70 와이어 메시(wire mesh)는 판들 중 하나에 부착된다. 도파관 섬유의 공지된 길이는 판들 사이에 속하고, 기준 감쇠는 판들이 서로 30 뉴톤의 힘으로 가압되는 동안 측정된다. 그 후, 70 뉴톤의 힘은 판에게 가해지게 되고, 감쇠의 증가는 dB/m으로 측정된다. 감쇠의 증가는 도파관의 횡하중 와이어 메시(LLWM) 감쇠이다.

- [0032] "핀 어레이(pin array)" 굽힘 테스트는 굽힘에 대한 광 도파관 섬유의 상대 저항을 비교하기 위해 사용된다. 이러한 테스트를 실행하기 위해, 감쇠 손실은 도파관 섬유에 대해 측정되며, 이때에는 기본적으로 굽힘 손실이 유도되지 않는다. 그 후, 광 도파관 섬유는 핀 어레이 주위에서 짜이게 되고, 감쇠는 다시 측정된다. 굽힘에 의해 유도된 손실은 측정된 2 개의 감쇠 간의 차이다. 핀 어레이에는 단일 열로 배치된 일련의 원통형 핀들의 세트이고, 고정된 수직 방향 위치를 향하여 평평한 표면 상에 유지된다. 중심 간의 핀 공간은 5 mm이다. 핀 직경은 0.67 mm이다. 테스트하는 동안, 도파관 섬유가 핀 표면의 일부에 일치하도록 충분한 장력을 가해진다.
- [0033] 주어진 모드에 있어서, 이론적인 섬유 컷오프 파장(theoretical fiber cutoff wavelength) 또는 "이론적인 섬유 컷오프", 또는 "이론적인 컷오프"는 유도 광(guided light)이 그 모드에서 전파될 수 없는 파장이다. 수식 정의는 Single Mode Fiber Optics, Jeunhomme, pp. 39-44, Marcel Dekker, New York, 1990에서 발견될 수 있고, 이론적인 섬유 컷오프는 모드 전파 상수가 외부 클래딩의 평면파 전파 상수와 같아지게 되는 파장으로 기술된다.
- [0034] 유효 섬유 컷오프는 굽힘 및/또는 기계적인 압력에 의해 유도된 손실로 인하여 이론적인 컷오프보다 낮다. 이와 같은 정황에서, 컷오프는 보다 높은 LP11 및 LP02 모드를 의미한다. LP11 및 LP02는 일반적으로 측정에 있어서 구분되지 않지만, 그러나, 이를 둘 다는 스펙트럼 측정의 단계에서 분명하게 구분되고(멀티모드 기준 기법(multimode reference technique)이 사용하는 경우), 즉, 전력은 측정된 컷오프보다 긴 파장의 모드에서 관찰되지 않는다. 실제 섬유 컷오프는, "2m 섬유 컷오프" 또는 "측정된 컷오프"라고도 알려진 표준 2m 섬유 컷오프 테스트, FOTP-80(EIA-TIA-455-80)에 의해 측정될 수 있어서 "섬유 컷오프 파장"을 만들어 낸다. FOTP-80 표준 테스트는 제어되는 굽힘 양을 사용하여 고차 모드(higer order modes)를 제거하거나(strip out), 섬유의 스펙트럼 응답을 멀티모드 섬유의 스펙트럼 응답에 정규화시키기 위해 실행된다.
- [0035] 케이블식 컷오프 파장 또는 "케이블 컷오프"는 통상적으로 케이블 환경에서 높은 레벨의 굽힘 및 기계적인 압력으로 인해 측정된 섬유 컷오프보다 낮다. 실제 케이블형 조건은, EIA-TIA Fiber Optics Standards, 즉, FOTP의 것으로 보다 일반적으로 알려진 Electronics Industry Alliance--Telecommunications Industry Association Fiber Optics Standards의 부분인 EIA-445 Fiber Optic Test Procedures에 기술된 케이블형 컷오프 테스트에 가까워질 수 있다. 케이블형 컷오프 측정은 EIA-455-170 Cable Cutoff Wavelength of Single-mode Fiber by Transmitted Power, 또는 "FOTP-170"에 기술된다. 본원에서 별다른 말이 없는 한, 광학 속성(예를 들면, 분산, 분산 기울기 등)은 LP01 모드에 대해 기술된다.
- [0036] 도파관 섬유 통신 링크, 또는 간단하게 링크는 광 신호의 송신기, 광 신호의 수신기, 및 상기 송신기와 상기 수신기 간에서 광 신호를 전파하기 위해 상기 송신기와 상기 수신기에 광학적으로 연결된 각각의 말단들을 가진 도판관 섬유 또는 섬유들의 길이로 구성된다. 도파관 섬유의 길이는, 직렬 배치로 말단 간에서 서로 결합되거나 연결되는 복수의 짧은 길이로 구성될 수 있다. 링크는 광 증폭기들, 광 감쇠기들, 광 아이솔레이터(optical isolators), 광 스위치들, 광 필터들 또는 멀티플렉싱 또는 디멀티플렉싱 장치들 등의 광 구성 부재를 추가로 포함할 수 있다. 상호 연결된 링크들의 그룹은 통신 시스템으로 나타낼 수 있다.
- [0037] 본원에서 사용되는 광 섬유의 스펜(span)은, 광 장치들 간에서, 예를 들면, 2 개의 광 증폭기들 간에서, 또는 멀티플렉싱 장치와 광 증폭기 간에서 연장되는, 광 섬유의 길이 또는 서로 연속적으로 결합된 복수의 광 섬유를 포함한다. 스펜은 본원에서 기술된 바와 같이 광 섬유의 하나 이상의 섹션들을 포함할 수 있고, 예를 들면, 스펜의 말단에서 잔류 분산 등의 소기의 시스템 성능 또는 파라미터를 이루기 위해 다른 광 섬유가 선택될 시에, 다른 광 섬유의 하나 이상의 섹션들을 더 포함할 수 있다.
- [0038] **본 발명의 실시예(들)**
- [0039] 참조는 이제 본 발명의 본 실시예(들), 첨부된 도면에 도시된 예시들에서 상세하게 이루어질 것이다. 언제든 가능한 바와 같이, 동일 참조 번호는 동일하거나 유사한 부분을 의미하기 위해 도면에 사용될 것이다. 본 발명의 광 섬유의 일 실시예는 도 1a에서 도시되고, 일반적으로 참조 번호 10으로 표기된다. 도파관 섬유(10)는, 1550 nm 파장에서 약 $90 \mu\text{m}^2$ 이상(예를 들면, 1550 nm 파장에서 $90 \mu\text{m}^2$ 내지 $160 \mu\text{m}^2$, 또는 $100 \mu\text{m}^2$ 내지 $160 \mu\text{m}^2$, 또는 120 내지 $140 \mu\text{m}^2$)의 유효 면적을 갖고 a 값이 $12 \leq a \leq 200$ (예를 들면 $12 \leq a \leq 100$, 또는 $12 \leq a \leq 25$)인 코어(12), 및 상기 코어를 둘러싼 클래딩(20)을 포함한다. 본원에서 기술된 대표적인 섬유들의 a 값의 통상적인 범위는 14 내지 20, 예를 들면 $15 \leq a \leq 17$ 이다. 그러나, 큰 a 값(예를 들면, >25)은 PCVD(plasma chemical vapor deposition)에 의해 달성될 수 있다. 이러한 섬유의 대표적인 굴절률 프로파일

(상대 굴절률 델타 대 반경)은 도 1b에서 개략적으로 도시된다.

[0040] 코어(12)는 Ge가 없으며, 중심 코어 영역(14), 중심 코어 영역(14)을 둘러싸고 상기 중심 코어 영역 바로 접해 있는 제 1 환형 코어 영역(16), 및 제 1 환형 영역(16)을 둘러싸고 상기 제 1 환형 영역에 바로 접해 있는 제 2 환형 영역(18)을 포함한다. 중심 코어 영역(14)은 중심선부터 반경(r_0)까지 외부 방향을 향하여 방사상으로 연장되며(이때 상기 r_0 은 $0 \mu\text{m} \leq r_0 \leq 2 \mu\text{m}$ 임), 순수 실리카에 대해 %로 측정된 상대 굴절률 퍼센트 프로파일 $\Delta_0(r)$ 을 가지고, 상기 $\Delta_0(r)$ 은 $-0.1\% \leq \Delta_0(r) \leq 0.15\%$ 이다. 일부 실시예들에서, $\Delta_0(r)$ 은 $-0.1\% \leq \Delta_0(r) \leq 0.1\%$ 이다. 일부 실시예들에서, $\Delta_0(r)$ 은 $-0.1\% \leq \Delta_0(r) \leq 0\%$ 이다. 예를 들면, 일부 실시예들에서, $\Delta_0(r)$ 은 $-0.075\% \leq \Delta_0(r) \leq 0\%$ 이다. 중심 코어 영역(14)은 최대 상대 굴절률 퍼센트($\Delta_{0\text{MAX}}$)도 가진다. 본원에서 기술된 대표적인 실시예들에서, $\Delta_{0\text{MAX}}$ 은 섬유의 중심선($r=0$)에서 일어난다.

[0041] 제 1 환형 코어 영역(16)은 외부 반경(r_1)($4.8 \mu\text{m} \leq r_1 \leq 10 \mu\text{m}$)으로 연장되고, 순수 실리카에 대해 %로 측정된 상대 굴절률 퍼센트 프로파일 $\Delta_1(r)$, 및 최소 상대 굴절률 $\Delta_{1\text{MIN}}$, 최대 상대 굴절률 $\Delta_{1\text{MAX}}$ (여기서, $\Delta_{0\text{MAX}} \geq \Delta_{1\text{MAX}}$)을 가지며, 반경 $r=2.5 \mu\text{m}$ 에서 측정된 상대 굴절률 Δ_1 은: (a) $-0.15 \leq \Delta_1(r=2.5 \mu\text{m}) \leq 0$, 및 (b) $\Delta_{0\text{MAX}} \geq \Delta_1(r=2.5 \mu\text{m})$ 이다. 일부 실시예들에서, $\Delta_{1\text{MAX}} = \Delta_1(r=2.5 \mu\text{m})$ 이다.

[0042] 제 2 환형 코어 영역(18)은 플루오린으로 도핑되고, 제 1 환형 영역(16)을 둘러싸고, 상기 제 1 환형 영역에 바로 접하여 위치한다. 통상적으로, 본원에 기술된 실시예들에 따라서, 제 2 환형 코어 영역(18)은 0.1 내지 2 wt% 플루오린, 예를 들면, 0.1 내지 2 wt% 플루오린, 예를 들면, 0.1 내지 1.6 wt%, 또는 0.4 % 내지 2 wt% 플루오린을 가진다.

[0043] 제 2 환형 코어 영역(18)은 반경(r_2)($13 \mu\text{m} \leq r_2 \leq 30 \mu\text{m}$)으로 연장되고, 순수 실리카에 대해 %로 측정된 음의 상대 굴절률 퍼센트 프로파일 $\Delta_2(r)$ 를 가지며, 최소 상대 굴절률 퍼센트 $\Delta_{2\text{MIN}}$ 은: (a) $\Delta_{2\text{MIN}} < \Delta_1(r=2.5 \mu\text{m})$ 및/또는 $\Delta_{2\text{MIN}} < \Delta_{1\text{MAX}}$ 이고, (b) $-0.7\% \leq \Delta_{2\text{MIN}} \leq -0.27\%$ 이다. $\Delta_2(r)$ 는 또한 최대 상대 굴절률 퍼센트 $\Delta_{2\text{MAX}}$ ($\Delta_{2\text{MAX}} < \Delta_1(r=2.5 \mu\text{m})$ 이고 $\Delta_{2\text{MAX}} \geq \Delta_{2\text{MIN}}$)를 가진다. 일부 실시예들에서, $-0.5\% < \Delta_{2\text{MIN}} < -0.27\%$ 이다. 예를 들면, $\Delta_{2\text{MIN}}$ 은 -0.29% , -0.3% , -0.35% , -0.38% 일 수 있다. 예를 들면, $\Delta_{2\text{MIN}}$ 은 -0.29% , -0.3% , -0.35% , -0.38% , -0.4% , -0.47% , -0.5% 일 수 있거나, 또는 이들 간에서 임의의 수일 수 있다. 다른 실시예들에서, $-0.4\% < \Delta_{2\text{MIN}} < -0.27\%$ 이다.

[0044] 특히, 제 2 환형 코어 영역(18)이 상대적으로 평평한 굴절률 프로파일을 가지는 경우에서($\Delta_{2\text{MAX}} - \Delta_{2\text{MIN}} < 0.03\%$), 반경(r_1)은 $\Delta_1(r=2.5 \mu\text{m})$ 과 제 2 환형 영역이 $\Delta_{2\text{MIN}}$ 에 이를 시의 제 1 경우 사이의 중간 지점 값에 대응하기 위해 정의된다. 즉, r_1 =반경이 되며, $\Delta(r) = [\Delta_1(r=2.5 \mu\text{m}) + \Delta_{2\text{MIN}}]/2$ 이다. 이와 유사하게, 환형 코어 영역(18)의 외부 반경(r_2)은 $\Delta_{2\text{MIN}}$ 과 $\Delta_3 = \Delta_{3\text{MAX}}$ 인 제 1 경우 사이의 중간 지점 값에 대응하기 위해 정의된다. 즉, r_2 =반경이 되며, $\Delta(r) = [\Delta_{2\text{MIN}} + \Delta_{3\text{MAX}}]/2$ 이다. 제 2 환형 코어 영역(18)이 상대적으로 평평한 굴절률 프로파일을 가지지 않는 경우에서, 즉 $\Delta_{2\text{MAX}} - \Delta_{2\text{MIN}} \geq 0.03\%$ 에서는 Δ_2 는 클래딩에 근사한 $\Delta_{2\text{MIN}}$ 에 이르고, 반경(r_1)은 $\Delta_1(r=2.5 \mu\text{m})$ 과 제 2 환형 영역이 $\Delta_{2\text{MAX}}$ 에 이를 시의 제 1 경우 사이의 중간 지점 값에 대응하기 위해 정의된다. 즉, r_1 =반경이 되며, $\Delta(r) = [\Delta_1(r=2.5 \mu\text{m}) + \Delta_{2\text{MAX}}]/2$ 이다. 반경(r_2)은 $\Delta_{2\text{MIN}}$ 과 제 2 환형 영역이 $\Delta_{3\text{MAX}}$ 에 이를 시의 제 1 경우 사이의 중간 지점 값에 대응하기 위해 여전하게 정의되며, 즉 r_2 =반경이 되며, $\Delta(r) = [\Delta_{2\text{MIN}} + \Delta_{3\text{MAX}}]/2$ 이다.

[0045] 일부 실시예들에서, r_2/r_1 비는 2 내지 6이다. 바람직하게, 상기 비는 $2.1 \leq r_2/r_1 \leq 5.75$, 예를 들면, $2.15 \leq r_2/r_1 \leq 5.7$ 이다. 바람직하게, $r_2 \leq 30 \mu\text{m}$, 예를 들면, $14 \mu\text{m} \leq r_2 \leq 29 \mu\text{m}$ 이다. 주어진 Δ_2 및 Δ_3 에 있어서, r_2/r_1 비가 작은 경우(예를 들면, r_1 이 크기 때문), MFD는 커지게 되고, λ_0 은 작아지게 되며, 그리고 1550 nm에서의 분산(D)은 커지게 된다. r_2/r_1 비가 너무 크면, MFD는 너무 작아질 수 있고, λ_0 은 높은 파장으로 이동하고 1550 nm에서의 분산(D)은 작아질 수 있다.

[0046] 클래딩(20)은 코어(12)를 둘러싸고, 순수 실리카에 대해 %로 측정된 상대 굴절률 퍼센트 $\Delta_3(r)$ 를 가지며, $\Delta_3(r) \geq \Delta_{2\text{MIN}}$ 이다.

[0047] 일부 대표적인 실시예들에서, 코어(12) 및 클래딩(20)은 다운도펀트로서 F를 포함한다. 이러한 실시예들에서, 제 1 및 제 2 환형 코어 영역(16 및 18)에서 존재하는 F 양은 중심 코어 영역(14)에서 존재하는 플루오린 양보다 크다. 일부 대표적인 실시예들에서, 코어(12)는 또한 적어도 하나의 알칼리 금속 산화물 도펀트를 포함하고, 예를 들면, 알칼리는 K, Na, Li, Cs, 및 Rb이다. 일부 대표적인 실시예들에서, 코어(12)는 20 중량 ppm 내지 1000 중량 ppm의 K 양으로 K₂O를 포함한다. 섬유(10)는 또한 염소를 포함할 수 있다. 염소의 양은 코어(12)에서 500 중량 ppm보다 크고, 클래딩(20)에서 10000 중량 ppm(ppm by wt)보다 큰 것이 바람직하다. 특히 용어 "ppm"은 구체적으로 별다른 말이 없는 한, parts per million by weight 또는 ppm by weight을 의미하며, wt%의 측정률은 계수 10,000을 곱하여 ppm으로 전환될 수 있다.

[0048] 광 섬유(10)의 상대 굴절률 프로파일은 1550 nm의 파장(λ)에서 0.175 dB/km보다 크지 않은 감쇠, 예를 들면, 1550 nm의 파장(λ)에서 0.145 dB/km 내지 0.175 dB/km인 감쇠를 제공하기 위해 선택된다. 감쇠 값은 1550 nm의 파장(λ)에서 0.145 dB/km 내지 0.17 dB/km 또는 0.15 dB/km 내지 0.165 dB/km, 또는 예를 들면, 0.15 dB/km, 0.155 dB/km, 0.16 dB/km, 0.165 dB/km, 0.165 dB/km, 또는 0.17 dB/km일 수 있다.

[0049] 예시들 1-15

[0050] 본 발명은 다음의 예시들에 의해 더 명확해질 것이다.

[0051] 표 1-2는 섬유 실시예들의 하나의 예시적인 세트의 예시들 1-15의 특성을 나열한다. 도 2-16은 예시들 1-15 각각에 해당하는 굴절률 프로파일을 보여준다. 예시들 1-15의 이러한 광 섬유 실시예들에서, $-0.5\% \leq \Delta_0 \leq 0\%$ 이며, $\Delta_{0\text{max}} \leq 0\%$; $-0.065\% \leq \Delta_1(r=2.5\mu\text{m}) \leq 0\%$, $-0.065\% \leq \Delta_{1\text{max}} \leq 0.0\%$, $-0.5\% \leq \Delta_{2\text{MIN}} \leq -0.27\%$, $-0.4\% \leq \Delta_3 \leq -0.2\%$ 이며, 그리고 r_2/r_1 은 $2.17 \leq r_2/r_1 \leq 5.7$ 이고, $r_2 < 30$ 이다. 그러나, 특히, 다른 실시예들에서, Δ_0 은, 중심 코어 영역(14)에 업도펀트가 있는지 또는 다운도펀트가 있는지에 따라 (실리카에 대해) 0%보다 다소 크거나 작을 수 있다. 광 섬유(10)의 일부 실시예들이 12 내지 25의 알파 값을 가지고 있지만, 예시들 1-9의 광 섬유 실시예들은 13-15 범위의 알파 값을 가진다. 예시들 10-15의 광 섬유 실시예들은 약 20의 알파 값을 가진다.

[0052] 이러한 대표적인 섬유들의 모델형 프로파일 파라미터들(modeled profile parameters)은 표 1A에 요약되어 있다. r_3 의 값은 클래딩의 외부 직경에 해당하고, 이러한 예시들에서 r_3 은 $62.5\mu\text{m}$ 이다. 일부 대표적인 섬유에서, $\Delta_2(\%) = \Delta_3(\%)$ 이다. 이로써, 이러한 실시예들에서, 환형 코어 영역들(16 및 18) 사이의 명확한 굴절률 변화가 없기 때문에, r_2 값은 규정된 범위 내에 속해 있는 값으로 제공된다.

표-1

예시	$\Delta_{0\text{MAX}}(\%)$	$r_0(\mu\text{m})$	$\Delta_{1\text{MAX}}(\%)$	$r_1(\mu\text{m})$	$\Delta_{2\text{Max}}(\%)$	$r_2(\mu\text{m})$	$\Delta_3(\%)$	r_2/r_1
1	0	0	0.000	5.25	-0.300	15-26	-0.300	2.86 - 4.95
2	0	0	0.000	6.20	-0.290	25	-0.260	4.03
3	0	0	0.000	7.38	-0.412	16	-0.213	2.17
4	0	0	0.000	7.38	-0.412	28	-0.213	3.80
5	0	0	0.000	7.10	-0.382	18	-0.225	2.54
6	0	0	0.000	7.10	-0.382	16-26	-0.382	2.25 - 3.66
7	0	0	0.000	5.00	-0.292	16-26	-0.292	3.20 - 5.20
8	0	0	0.000	5.00	-0.302	28.5	-0.292	5.70
9	0	0	0.000	4.90	-0.315	16-26	-0.315	3.26 - 5.31
10	0	1.40	-0.064	5.63	-0.301	20.5	-0.315	3.64
11	0	1.92	-0.062	8.15	-0.400	24.8	-0.260	3.04
12	0	1.12	-0.062	7.40	-0.470	26	-0.280	3.51
13	0	1.30	-0.062	5.60	-0.380	22	-0.350	3.93
14	0	1.40	-0.063	6.20	-0.380	19.6	-0.340	3.16
15	0	1.00	-0.061	5.00	-0.401	20	-0.380	4.00

[0053]

[0054]

이러한 15 개의 대표적인 실시예들에서, 코어들(12)은 실리카계(SiO_2)이며, 플루오린으로 도핑된다. 다음 표는 코어 영역들(16, 18) 및 클래딩(20)에 대한 플루오린인 F 양을 총량 퍼센트(wt.%)로 하여 제공한다.

표 2

예시	영역(16)의 F, wt.%	영역(18)의 F, wt.%	영역(20)의 F, wt.%
1	0.00	-1.00	-1.00
2	0.00	-0.97	-0.87
3	0.00	-1.37	-0.71
4	0.00	-1.37	-0.71
5	0.00	-1.27	-0.75
6	0.00	-1.27	-1.27
7	0.00	-0.97	-0.97
8	0.00	-1.01	-0.97
9	0.00	-1.05	-1.05
10	-0.21	-1.00	-1.05
11	-0.21	-1.33	-0.87
12	-0.21	-1.57	-0.93
13	-0.21	-1.27	-1.17
14	-0.21	-1.27	-1.13
15	-0.20	-1.34	-1.27

[0055]

[0056]

특히, 표 1의 예시들 1-9에 해당하는 광 섬유 실시예들에서, $\Delta_{\text{OMAX}}=\Delta_{1\text{MAX}}$ 이고, 중심 코어 영역(14) 및 제 1 환형 영역(16)의 조성물(제 2 환형 영역(18)으로의 전이에 연관된 그래프 상의 엘보우 구간(elbow section) 까지)은 동일하다(도 2-10 참조). 이로써, 예시들 1-9에서, 코어 영역들(14 및 16) 사이에서의 명확한 전이가 없기 때문에, 표 1에서 r_0 이 $0 \mu\text{m}$ 로 규정하고 있지만, $r_0=2\mu\text{m}$ 로도 규정할 수 있다. 이러한 대표적인 섬유에서, Δ_{OMAX} 는 0인데, 이는 코어 영역(14)(및 제 1 환형 영역(16)의 적어도 일부)이 순수 실리카이기 때문이다.

[0057]

보다 구체적으로, 표 1의 예시들 2-5(도 3-6 참조)에 해당하는 광 섬유 실시예들은 중심 세그먼트(14)에 있는 코어 굴절률 프로파일을 포함하고, 이때 상기 중심 세그먼트는 굴절률 $\Delta_0=\Delta_1$ 을 가진 제 1 환형 코어 영역(16)에 의해 둘러싸이고, 상기 제 1 환형 코어 영역에는 굴절률 $\Delta_{2\text{MIN}}$ 을 가진 제 2 환형 코어 영역(18)에 해당하는 모트 영역(moat region)에 둘러싸인다. 이러한 모트(제 2 환형 코어 영역(18))는 굴절률 $\Delta_3>\Delta_{2\text{MIN}}$ 을 가진 클래딩(20)에 의해 둘러싸인다. 예시들 1-5에 해당하는 광 섬유 실시예들에서, $-0.38 \% \leq \Delta_3 \leq -0.26 \%$ 이고; $-0.412 \% \leq \Delta_2 \leq -0.290 \%$ 이다.

[0058]

표 1의 예시들 6-9에 해당하는 광 섬유 실시예들은 순수 실리카 중심 코어 영역(14)에 있는 코어 굴절률 프로파일을 포함하고, 상기 순수 실리카 중심 코어 영역은 상대 굴절률 $\Delta_0=\Delta_1=0$ 을 가진 제 1(순수 실리카) 환형 코어 영역(16)에 의해 둘러싸인다. 이러한 대표적인 섬유들에서, 제 1 환형 코어 영역(16)은 상대 굴절률 $\Delta_2<\Delta_1$ 을 가진 제 2 환형 코어 영역(18)에 의해 둘러싸인다. 상대 굴절률 Δ_2 를 가진 제 2 환형 코어 영역(18)은 굴절률 $\Delta_3=\Delta_2$ 를 가진 클래딩(20)에 의해 둘러싸인다. 예시들 6, 7 및 9에 해당하는 광 섬유 실시예들에서, 제 2 환형 코어 영역(18) 및 클래딩(20)의 조성물은 동일하다. 그러나, 다른 실시예들에서(예를 들면, 예시 9의 광 섬유 파라미터 참조), 제 2 환형 영역(18) 및 클래딩(20)의 조성물은 동일하지 않을 수 있고, 즉 $\Delta_3 \neq \Delta_{2\text{MIN}}$ 또는 $\Delta_3>\Delta_{2\text{MIN}}$ 로 될 수 있다. 예시들 6-9에 해당하는 광 섬유 실시예들에서, $-0.382 \% \leq \Delta_2 \leq -0.292 \%$ 이고 $-0.382 \% \leq \Delta_3 \leq -0.315 \%$ 이다. 표 1의 예시들 10-15(도 11-16)에 해당하는 광 섬유 실시예들은 상대 굴절률 $\Delta_{\text{OMAX}}=0$ 을 가진 순수 실리카 중심 코어 영역(14)에 있는 코어 굴절률 프로파일을 포함하고, 상기 순수 실리카 중심 코어 영역은 제 1 환형 코어 영역(16)에 의해 둘러싸인다. 제 1 환형 영역(16)은 상대 굴절률 $-0.1 \% < \Delta_1 \leq 0 \%$ 을 가지며, 굴절률 $\Delta_{2\text{MIN}}$ 을 가진 제 2 환형 코어 영역(18)에 해당하는 모트 영역에 의해 둘러싸인다. 제 2 환형 코어 영역(18)의 예시들 10-15에 해당하는 광 섬유 실시예들에서, $-0.5 \% \leq \Delta_{2\text{MIN}} \leq -0.27 \%$ 이고, 예를 들면, $\Delta_{2\text{MIN}}$ 는 -0.29 , -0.3 , -0.35 , -0.38 , -0.4 , -0.47 , 또는 이를 사이의 임의의 값일 수 있다. 모트(제 2 환형 코어 영역

(16))는 굴절률 $\Delta_3 > \Delta_{2\text{MIN}}$ 를 가진 제 3 환형 코어 영역(18)에 의해 둘러싸인다. 예시들 10-15에 해당하는 광 섬유 실시예들에서, $-0.38\% \leq \Delta_3 \leq -0.26\%$ 이다.

[0059] 광 섬유의 실시예들 중 일부는 다음의 모델형 값을 가진다: 섬유 컷오프 파장(λ_c)은 1321 nm 내지 1580 nm이고, 1550 nm에서의 유효 면적은 $90 \mu\text{m}^2 \leq A_{\text{eff}} \leq 160 \mu\text{m}^2$ 이고, 1550 nm에서의 분산(D)은 18 ps/nm/km 내지 25 ps/nm/km이고, 특히 바람직하게는 19 ps/nm/km 내지 23.5 ps/nm/km이고, 1550 nm에서의 감쇠는 0.175 dB/km 미만이고, 예를 들면, 0.165 dB/km 내지 0.175 dB/km이다. 표 1의 대표적인 섬유들은 모델화되며, 이러한 모델형 광학 속성은 표 2A 및 2B에 나열된다.

표 2-A

예시	1	2	3	4	5	6	7	8
1310nm에서의 분산(ps/nm/km)	2.91	3.87	5.17	5.19	4.99	4.99	2.32	2.49
1310nm에서의 분산 기울기, (ps/nm ² /km)	0.0869	0.0888	0.0908	0.0909	0.0906	0.0906	0.0862	0.0862
1310nm에서의 MFD, microns	10.35	11.27	11.71	11.71	11.60	11.60	10.21	10.13
1550nm에서의 분산 (ps/nm/km)	19.87	21.24	22.99	23.07	22.77	22.78	19.13	19.30
1550nm에서의 분산 기울기, (ps/nm ² /km)	0.0591	0.0607	0.0622	0.0627	0.0622	0.0623	0.0585	0.0586
LP11, nm	1498	1497	1388	1387	1411	1411	1402	1352
LP02, nm	948	927	896	896	906	906	888	832
1550 nm에서의 핀이레이, dB	8.43	11.49	30.29	10.56	20.08	9.25	16.56	15.94
1550 nm에서의 횡하중, dB	1.13	2.55	7.17	2.72	4.58	2.25	1.61	1.28
1310nm에서의 A _{eff} , microns ²	86.4	105.1	120.1	120.1	116.7	116.7	83.0	81.9
1550nm에서의 A _{eff} , microns ²	103.75	122.02	132.33	132.23	129.54	129.52	101.71	99.76
1550nm에서의 MFD, microns	11.52	12.33	12.45	12.44	12.39	12.39	11.48	11.35
1625nm에서의 분산(ps/nm/km)	24.13	25.62	27.48	27.59	27.26	27.28	23.35	23.53
1550에서의 감쇠(Attn), dB/km	0.170	0.169	0.167	0.167	0.168	0.168	0.170	0.170
섬유 컷오프 파장, (λ_c), nm	1538	1537	1428	1427	1451	1451	1442	1392
람다_0 (λ_0), nm	1276.5	1266.5	1253.1	1253.0	1254.9	1254.9	1283.0	1281.2

[0060]

표-2B

예시	9	10	11	12	13	14	15
1310nm에서의 분산 (ps/nm/km)	2.42	2.84	5.05	5.38	3.57	4.21	3.05
1310nm에서의 분산 기울기, (ps/nm ² /km)	0.0860	0.0873	0.0910	0.0906	0.0870	0.0883	0.0858
1310nm에서의 MFD, microns	9.91	11.17	12.81	11.64	10.22	10.78	9.64
1550nm에서의 분산 (ps/nm/km)	19.16	19.95	22.98	23.20	20.55	21.49	19.76
1550nm에서의 분산 기울기, (ps/nm ² /km)	0.0583	0.0600	0.0629	0.0625	0.0591	0.0603	0.0581
LP11, nm	1281	1526	1536	1424	1403	1506	1373
LP02, nm	793	991	1006	932	880	947	857
1550 nm에서의 핀어레이, dB	18.99	20.13	14.63	9.35	8.17	5.70	5.67
1550 nm에서의 횡하중, dB	1.14	4.75	25.59	2.52	0.77	0.96	0.42
1310nm에서의 Aeff, microns ²	78.43	99.03	141.02	117.86	84.89	96.06	74.89
1550nm에서의 Aeff, microns ²	95.55	120.80	156.69	130.26	100.42	111.21	89.86
1550nm에서의 MFD, microns	11.11	12.50	13.62	12.37	11.28	11.76	10.72
1625nm에서의 분산 (ps/nm/km)	23.37	24.29	27.53	27.71	24.81	25.84	23.96
1550에서의 감쇠, dB/km	0.170	0.173	0.171	0.171	0.173	0.172	0.174
섬유 컷오프 파장, (λ_c), nm	1321	1566	1576	1464	1443	1546	1413
람다_0 (λ_0), nm	1281.9	1277.4	1254.5	1250.6	1268.9	1262.3	1274.4

[0061]

표 2A 및 2B에서, 용어 "기울기 1310" 및 "기울기 1550"은 1310 nm 및 1550 nm 파장 각각에서 ps/nm²/km 단위로 분산 기울기를 나타내고; "MFD 1310" 및 "MFD 1550"은 1310 nm 및 1550 nm 파장 각각에서 마이크론(microns)으로 모드 필드 직경을 나타내고; "Aeff 1310" 및 "Aeff 1550"은 1310 nm 및 1550 nm 파장 각각에서 제곱 마이크론으로 섬유의 유효 면적을 나타내고; "D 1625"는 1625 nm 파장에서 ps/nm/km의 단위로 분산을 나타내고, "감쇠 1550"는 1550 nm에서 dB/km으로 감쇠를 나타내며, 그리고 용어 "람다 0" 또는 " λ_0 "는 nm로 제로 분산 파장을 나타낸다.

[0063]

섬유 예시 16-23

[0064]

본 발명의 광 섬유(10)의 2 개의 실시예들(섬유 예시 16 및 17)의 모델형 굴절률 프로파일들은 도 17에 도시된다. 광 섬유는 1550 nm 파장에서 약 110 μm^2 의 유효 면적을 가진 코어(12), 및 상기 코어를 둘러싼 클래딩(20)을 포함한다. 코어(12)는, 중심선으로부터 반경(r_0)($0 \mu\text{m} \leq r_0 \leq 2 \mu\text{m}$)으로 방사상으로 외부 방향을 향하여 연장되는 순수 실리카 중심 코어 영역(14), 및 외부 반경(r_1)(r_1 은 약 5 μm 임)으로 연장되는 제 1 환형 코어 영역(16)을 포함한다. 제 2 환형 영역(18)은 제 1 환형 영역을 둘러싸고, 제 1 환형 코어 영역(16)에 대해 다운도핑된다. 제 2 환형 영역은 외부 반경(r_2)으로 연장되고, r_2 는 섬유 예시 16에서 약 17 μm 이고, 섬유 예시 17에서 약 25 μm 이다. 다음의 표 3A는 섬유 예시 16 및 17의 광학 파라미터들을 나열한다.

표 3A - 섬유 예시 16 및 17에 대한 광학 파라미터.

예시	1550 nm에서의 A_{eff} , microns ²	1550nm에서의 분산 (ps/nm/km)	2m 컷오프, (nm)	1550 nm에서의 핀어레이 (마크로벤드), dB	1550 nm 마이크로벤드에서의 횡하중 (dB/km)	감쇠 1550 (dB/km)
16	110	18.4	1400	41.99	4.98	< 0.170
17	110	18.5	1426	83.24	11.47	< 0.170

[0065]

다음의 표 3B는 섬유 실시 예들의 또 다른 제시적인 세트의 섬유 예시 18-21의 특성을 나열한다.

표 3B - 섬유 예시 18-21

파라미터	예시 18	예시 19	예시 20	예시 21
Δ_0 max (%)	0.0	0.0	0.0	0.0
Δ_1 (%)	0.0	0.0	0.0	0.0
r_0 (microns)	0.0	0.0	0.0	0.0
제 1 환형 코어 영역의 외부 반경 r_1 (μm)				
	5.5	6.3	6.3	6.5
코어 알파(Core Alpha)	100	100	100	100
Δ_2 min (%)	-0.25	-0.27	-0.25	-0.25
Δ_3 min (%)	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2
제 2 환형 코어 영역의 말단 r_2 (μm)				
	27	27	27	27
1550 nm에서의 분산 (ps/nm/km)	19.4	20.8	20.6	20.8
1550 nm에서의 분산 기울기 (ps/nm ² /km)	0.06	0.061	0.061	0.062
1550 nm에서의 A_{eff} (μm^2)	119	129	134	138
1550 nm에서의 MFD (μm)	12.36	12.64	12.93	13.1
1550 nm에서의 횡하중 (dB/km)				
	7	7	11	13
1550 nm에서의 핀어레이 (dB)	107	54	58	51
2m 컷오프 (nm)	1134	1260	1290	1337
1550 nm에서의 감쇠, (dB/km)	<0.175	<0.175	<0.175	<0.175

[0067]

도 18은 (제조된) 섬유 예시 22의 굴절률 프로파일을 도시한다. 이러한 섬유는 측정된 A_{eff} 의 $110 \mu\text{m}^2$ 이고, 상기 섬유의 감쇠는 1550 nm에서 0.167 dB/km 이다. 다음 표들(4a 및 4b)은 섬유 예시 22에 대한 광학 파라미터들을 제공한다.

표 4a

1550 nm에서의 MFD (microns)	1550 nm에서의 A_{eff} , (microns ²)	1550에서의 분산 (ps/nm/km)	1550 nm에서의 분산 기울기 ((ps/nm ² /km))	2m 컷오프, (nm)	1x32mm 매크로벤드 (dB/turn)	1550 nm에서의 횡하중 마이크로벤드 (dB/km)	1550nm에서의 감쇠 (dB/km)	1570nm에서의 감쇠 (dB/km)
12.08	116	20.47	0.06	1545	0.007	0.47	0.164	0.162

[0069]

표 4b. 예측 광학치(Predicted Opticals)

1550 nm에서의 핀어레이 (dB)	1550 nm에서의 횡하중 (dB/km)
16.38	1.96

[0070]

[0071] (제조된) 섬유 예시 23의 굴절률 프로파일은 도 19에 도시된다. 프로파일 1 굴절률 프로파일이 제조된다. 이러한 섬유는 측정된 A_{eff} 의 $110 \mu\text{m}^2$ 이고, 상기 섬유의 감쇠는 1550 nm에서 0.17 dB/km 미만이다. 다음 표들(5a 및 5b)은 섬유 예시 23에 대한 광학 파라미터들을 제공한다.

표 5a. 측정된 광학치

1550 nm에서의 MFD (microns)	1550 nm에서의 A_{eff} , (microns ²)	1550nm에서의 분산 (ps/nm/km)	2m 컷오프, (nm)	1550 nm에서의 측하증 (dB/km)	감쇠 1550 (dB/km)
12.26	115.9	20	1420	3.50	< 0.170

표 5b. 예측 광학치

핀어레이 (dB)
23.00

[0072] 예시 24, 25, 및 26-34

[0073] 표 6A는 2 개의 추가적인 예시 24 및 25의 측정된 특성을 나열하고, 도 20은 예시 24 섬유의 측정된 굴절률 프로파일을 도시한다. 표 6B는 본 발명에 따라 구현된, 500 km 보다 큰 광 섬유의 측정된 속성의 평균치, 최대치 및 최소치를 요약한 것이다. 표 6A 및 6B에 해당하는 광 섬유 실시예들은 알칼리로 도핑된 제 1 코어(12) 및 플루오린으로 도핑된 제 2 환형 영역(18)을 가진다. 이러한 섬유는 $100 \mu\text{m}^2$ 보다 큰, 바람직하게는 $110 \mu\text{m}^2$ 보다 큰, 보다 바람직하게는 $115 \mu\text{m}^2$ 보다 큰, 그리고 특히나 보다 바람직하게는 $120 \mu\text{m}^2$ 보다 큰 유효 면적(A_{eff})을 가진다. 이러한 섬유 실시예들의 케이블 컷오프는 1520 nm 미만이고, 보다 바람직하게는 1500 nm 미만이고, 그리고 특히나 보다 바람직하게는 1450 nm 미만이다. 이러한 섬유 실시예들의 통상적인 감쇠(예를 들면, 표 6A 및 6B 참조)는 0.17 dB/km 미만이고, 특히 바람직하게는 0.16 dB/km 미만이고, 보다 특히 바람직하게는 0.155 dB/km 미만이다.

표 6A. (섬유 예시 24, 25).

예시	1550 nm에서의 MFD, microns	1550 nm에서의 A_{eff} , microns ²	1550 nm에서의 분산, ps/nm/km	22 m 케이블 컷오프 (nm)	1550nm에서의 감쇠, dB/km	마이크로밴드 손실 (dB/km)
24	12.18	115.20	20.5	1420	0.1566	0.225
25	12.12	113.68	20.7	1450	0.1670	0.187

표 6B.

	1550 nm에서의 MFD, microns	1550 nm에서의 A_{eff} , microns ²	22 m 케이블 컷오프 (nm)	1550 nm에서의 분산, ps/nm/km	1550nm에서의 감쇠, dB/km	섬유 길이 (km)	PMD (polarisation mode dispersion, (ps per $\sqrt{\text{km}}$))
평균치	12.14	114.1	1474	20.48	0.166	20.553	0.026
중앙치	12.15	114.4	1475	20.45	0.166	16.500	0.025
최소치	11.94	109.6	1421	20.04	0.153	5.800	0.019

[0074] 표 7은 섬유 실시예들의 또 다른 제시적인 세트의 예시 26-34의 프로파일 파라미터 및 모델형 특성을 나열한다. 도 21은, $115 \mu\text{m}^2$ 보다 큰 유효 면적을 가진 본 발명의 2 개의 추가적인 섬유 실시예들(표 7의 29 및 33)의 굴절률 프로파일의 도면이다. 표 7의 대표적인 섬유 실시예들의 공통적인 속성은 다음과 같다: $115 \mu\text{m}^2$ 보다 큰 유

효 면적을 가진 섬유 실시예들에서, 광 섬유는 1.0 MPa 미만인 영률을 가진 1 차 코팅, 및 1200 MPa 보다 큰 영률을 가진 2 차 코팅을 가지는 것이 바람직하다. 예시들 26-34은 0.175 dB/km 미만, 바람직하게는 0.17 dB/km 미만인 1550 nm 감쇠 값, 1500 nm 미만(<1500 nm), 바람직하게는 1450 nm 미만(< 1450 nm)인 케이블 컷오프 파장, 및 110 μm^2 보다 큰(>110 μm^2), 보다 바람직하게는 120 μm^2 보다 큰(> 120 μm^2), 보다 바람직하게는 130 μm^2 보다 큰(> 130 μm^2) 유효 면적을 가진다. 횡하중 와이어 메시(LLWM) 마이크로벤딩 손실은 5 dB보다 작고(< 5 dB), 바람직하게는 4 dB보다 작고(< 4 dB), 더 바람직하게는 3 dB보다 작다(< 3 dB). LP11 컷오프 파장은 바람직하게 1350 nm이고, 더 바람직하게는 1380 nm이고, 1450 nm이다.

[0079] 실시예 26-34에서, $-0.2\% \leq \Delta_0 \leq 0.2\%$, $-0.065\% \leq \Delta_1(r=2.5\mu\text{m}) \leq 0\%$, $-0.065\% \leq \Delta_{1\text{max}} \leq 0.0\%$, $-0.5\% \leq \Delta_{2\text{MIN}} \leq -0.27\%$, $-0.4\% \leq \Delta_3 \leq -0.2\%$ (바람직하게는 $-0.3\% \leq \Delta_3 \leq -0.2\%$)이며, r_1/r_2 는 $0.2 \leq r_1/r_2 \leq 0.3$ 이며 $r_2 < 30$ 이다. 제 2 환형 코어 영역의 볼륨은 바람직하게 $-40\% - \mu\text{m}^2$ 미만이고, 더 바람직하게는 $-50\% - \mu\text{m}^2$ 미만이며, 프로파일 볼륨은 클래링 영역의 굴절률에 대하여 제 2 환형 코어 영역의 굴절률에 반경 가중치 차(radial-weighted difference)를 적분함으로써 계산된다.

$$V = \int_{r_1}^{r_2} (\Delta_2(r) - \Delta_3) r dr$$

[0080]

[0081] 큰 음의 프로파일 볼륨은 코어에 광 출력을 한정하는 도움을 주기 위해 필요할 수 있고, 이로 인해 마이크로벤딩 손실은 감소되고, 큰 유효 면적 및 저 감쇠의 조합은 가능해진다. 실시예 26-34에서, 제 2 코어 영역의 외부 반경에 대한 제 1 환형 코어 영역의 반경의 비(r_1/r_2)는 0.4 미만이고, 바람직하게 0.3 미만이며, 더 바람직하게는 0.2 내지 0.3이다. 표 7에서 주어진 MFOM(microbend figure of merit)은 마이크로벤드와 분산 간의 관계를 얻는 파라미터이다.

$$MFOM = C \frac{(A_{eff})^2}{(D)(LP11)}$$

[0082]

[0083] 여기서, D는 1550 nm의 섬유 분산이고, C는 코팅에 의한 마이크로벤드 감소의 치수이며, LP11은 LP11 모드의 이론적인 컷오프 파장이다. MFOM(microbend figure of merit)은 바람직하게 0.6보다 작고(< 0.6), 더 바람직하게는 0.55보다 작으며(< 0.55), 특히나 바람직하게는 0.45 내지 0.5이다.

표 7

예시	26	27	28	29	30	31	32	33	34
Δ_0 (%)	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
R_0 (microns)	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Δ_1 (%)	-0.009	-0.008	-0.02	-0.024	-0.029	-0.031	-0.011	-0.024	-0.025
R_1 (microns)	6.2	6.21	6.4	6.42	6.64	6.76	6.45	6.52	6.73
$\Delta_{2\max}$ (%)	-0.324	-0.31	-0.323	-0.314	-0.32	-0.32	-0.354	-0.345	-0.344
R_2 (microns)	25.47	29.25	28.63	28.8	27.84	27.36	26.99	29.09	25.36
$\Delta_{2\min}$ (%)	-0.389	-0.4	-0.386	-0.383	-0.407	-0.387	-0.345	-0.351	-0.349
Δ_3 (%)	-0.25	-0.25	-0.25	-0.25	-0.25	-0.25	-0.25	-0.25	-0.25
모트볼륨(Moat Volume) (nm^3)	-51.3	-61.1	-64.5	-58.9	-61.4	-56.3	-67.6	-78.1	-57.1
$R1/R2$	0.267	0.231	0.237	0.241	0.258	0.27	0.255	0.244	0.284
A_{eff} (microns 2)	116.6	120.2	123.2	125.5	130.1	132.8	118.5	122.3	128.1
MFOM	0.468	0.485	0.512	0.532	0.557	0.574	0.464	0.505	0.531
1550nm에서의 횡하중 (dB/km)	1.84	1.88	2.54	3.15	3.95	4.96	1.67	2.45	3.56
1550nm에서의 분산 (ps/nm/km)	21.09	21.04	21.24	21.13	21.36	21.41	21.63	21.49	21.68
1550 nm에서의 분산 기울기 (ps/nm 2 /km)	0.0617	0.0617	0.0619	0.0619	0.0622	0.0623	0.0621	0.0621	0.0624
1550 nm에서의 핀어레이 (dB)	14.1	11.26	14.47	16.27	15.64	16.69	11.23	15.32	15.25
LP11 (microns)	1.379	1.416	1.396	1.4	1.422	1.435	1.399	1.377	1.426

[0084]

표 8은 표 7의 예시 29에 따라 구현된 2 개의 광 섬유들의 측정된 속성을 제공한다. 표 7에 해당하는 광 섬유 실시예들은 알칼리로 도핑된 제 1 코어(12), 및 플루오린으로 도핑된 제 2 환형 영역(18)을 가진다. 이러한 섬유들은 $115 \mu\text{m}^2$ 보다 큼, 바람직하게는 $120 \mu\text{m}^2$ 보다 큼, 더 바람직하게는 $125 \mu\text{m}^2$ 보다 큼 유효 면적(A_{eff})을 가진다. 이러한 섬유 실시예들의 케이블 컷오프는 1520 nm 미만, 더 바람직하게는 1500 nm 미만, 특히나 바람직하게는 1450 nm 미만이다. 이러한 섬유 실시예들의 통상적인 감쇠는 0.175 dB/km 미만, 보다 바람직하게는 0.17 dB/km 미만이다.

표 7. (섬유 예시 29).

예시	1550 nm에서의 MFD, microns	1550 nm에서의 A_{eff} , microns 2	1550 nm에서의 분산, ps/nm/km	22 m 케이블컷오프 (nm)	1550nm에서의 감쇠, dB/km	1x20mm 매크로밴드 손실 (dB/Turn)
35	12.65	127.9	20.3	1415	0.166	0.15
36	12.38	125.0	N/A	1383	0.171	N/A

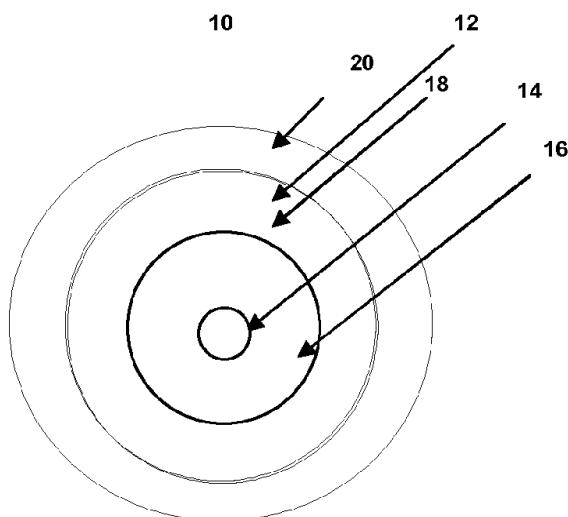
[0086]

MFOM에 대한 모델형 LLWM의 의존성은 도 22에 나타난다. 이러한 2 개의 파라미터들 간에는 양호한 상관 관계가 있고, 이로써, 이러한 새로운 측정 기법(metric)은 주어진 섬유 설계의 마이크로밴드 감도를 추정하기 위해 양호한 방식 기법이다. 또한, 분산이 낮은 섬유들이 마이크로밴드가 높은 감도를 가지는지에 대한 이유를 설명해 준다. 도 22에서, 상부 곡선은 표준 코팅으로 구성된 저 감쇠 섬유가 약 0.45까지의 MFOM 값에 대해 수용할 수 있는 마이크로밴딩 손실(LLWM < 2 dB)을 제시한다. 이는 섬유 유효 면적을 약 $115 \mu\text{m}^2$ 로 제한시킨다. 도 22의 하부 곡선은, 보다 큰 마이크로밴딩 저항을 제공하는 코팅이 보다 큰 MFOM 값을 가능케 하고, 이는 최대 LLWM 값을 약 4 dB로 증가시킬 수 있고, 그 다음에 상당하게 큰 유효 면적을 가능케 한다는 것을 제시한다. $140 \mu\text{m}^2$ 만큼 큰 유효 면적을 가진 저 감쇠 광 섬유는 표 7의 프로파일 설계 및 우수한 마이크로밴드 저항을 가진 코팅의 조합을 통하여 가능하게 된다.

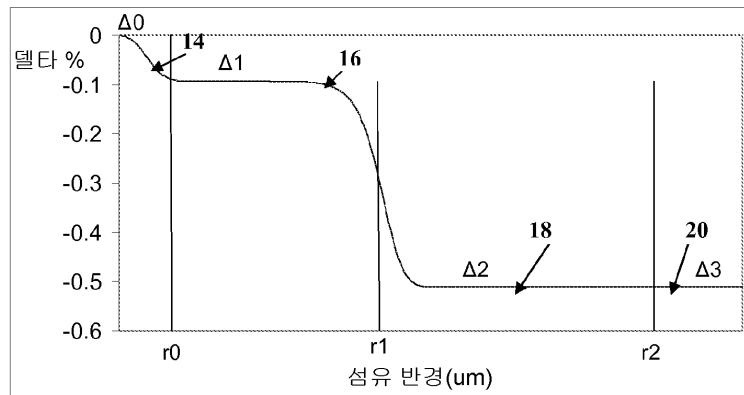
- [0088] 발견된 바와 같이, 1 차 코팅 및 2 차 코팅의 특정 결합은 마이크로밴드 성능, 및 이에 따른 전체 감쇠를 현저하게 개선시키고, 이로 인해 섬유의 유효 면적은 $115 \mu\text{m}^2$ 이상으로($\geq 115 \mu\text{m}^2$), 바람직하게는 $120 \mu\text{m}^2$ 이상으로($\geq 120 \mu\text{m}^2$), 그리고 특히나 바람직하게는 $130 \mu\text{m}^2$ 이상으로($\geq 130 \mu\text{m}^2$) 증가될 수 있다. 적어도 $115 \mu\text{m}^2$ 의 유효 면적을 가진 광 섬유는 바람직하게 클래딩(20)에 접촉하여 상기 클래딩을 둘러싸는 1 차 코팅(P)을 포함한다. 1 차 코팅(P)은 1.0 MPa 미만, 바람직하게는 0.9 MPa 미만, 그리고 바람직한 실시예들에서는 0.8 MPa보다 크지 않은 영률을 가진다. 이러한 광 섬유는 1 차 코팅(P)에 접촉하여 상기 1 차 코팅을 둘러싸는 2 차 코팅(S)을 더 포함한다. 2 차 코팅(S)은 바람직하게 1200 MPa보다 큰, 더 바람직하게는 1400 MPa보다 큰 영률을 가진다.
- [0089] 본원에서 사용되는 바와 같이, 1 차 코팅의 영률, 단절될 때까지의 연신율(elongation), 및 경화성 고분자 물질의 인장 강도는 인장 테스트 기구(예를 들면, Sintech MTS Tensile Tester, 또는 INSTRON Universal Material Test System)를 사용하여, 두께가 약 0.003"(76 μm) 내지 0.004"(102 μm)이고 폭이 약 1.3 cm인 막으로 형성된 물질의 샘플에 대하여 측정되었으며, 이때 측정 길이는 5.1 cm이며, 그리고 테스트 속도는 2.5 cm/min이였다.
- [0090] 대표적인 실시예들에서, 1 차 코팅(P)은 유리 전이 온도를 가지는 것이 바람직한데, 이때 상기 유리 전이 온도는 코팅된 광 섬유의 최저로 방출된 사용 온도(lowest projected use temperature)보다 낮다. 일부 실시예들에서, 1 차 코팅(P)은 -25 °C 미만, 더 바람직하게는 -30 °C 미만인 유리 전이 온도를 가진다. 1 차 코팅(P)은 바람직하게 광 섬유의 코어로부터 나간 잘못된 광 신호를 제거하도록, 광 섬유의 클래딩보다 높은 굴절률을 가진다. 예를 들면, 전송 광 섬유는 1550 nm의 파장에서, 굴절률 값이 1.447인 코어, 그리고 굴절률 값이 1.436인 클래딩을 가진다; 이로써, 1 차 코팅(P)의 굴절률은 1550 nm에서 1.44보다 큰 것이 바람직하다. 1 차 코팅(P)은 열 처리 및 가수 분해가 일어나는 동안 유리 섬유에 적절하게 접착되어 유지되어야 하며, 스플리싱 목적(splicing purposes)을 위해 유리 섬유로부터 제거될 수도 있다. 1 차 코팅(P)은 통상적으로 25-50 μm 의 범위(예를 들면, 약 32.5 μm)의 두께를 가지며, 액체 및 고형물(cured)로서 광 섬유에 적용될 수 있다.
- [0091] 1 차 코팅(P)은 올리고며 및 적어도 하나의 모노머를 포함하여 1 차 경화성 조성물의 경화 제품인 것이 바람직하다. 1 차 코팅을 형성하는데 사용된 1 차 경화성 조성물은 광 개시제들(photoinitiators)도 포함할 수 있다.
- [0092] 기술 분야의 통상의 기술자에게 있어 명백한 바와 같이, 다양한 변형 및 변화는 본 발명의 기술 사상 및 권리 범위를 벗어남 없이 본 발명으로 이루어질 수 있다. 이로써, 의도한 바와 같이, 본 발명이 본 발명의 변형 및 변화를 포함한다면, 상기 변형 및 변화는 첨부된 청구항 및 이들의 균등물의 권리 범위 내에 속해 있다.

도면

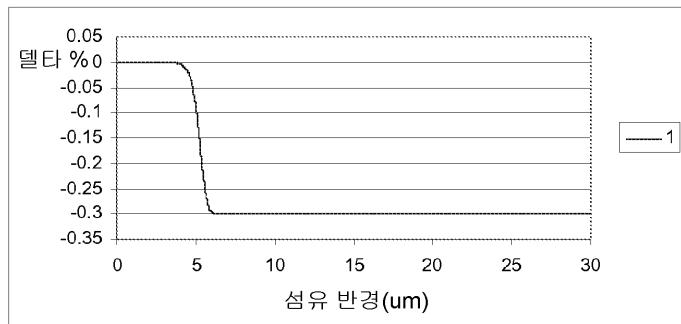
도면1a



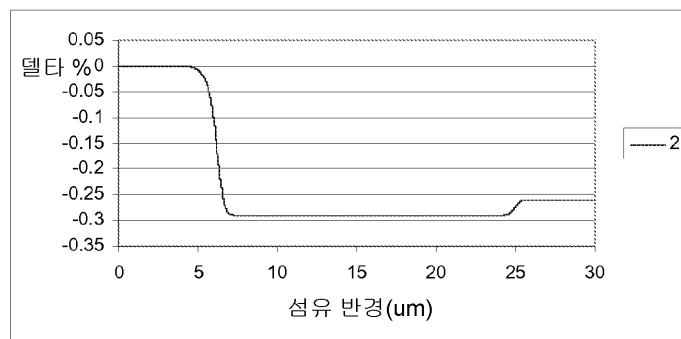
도면1b



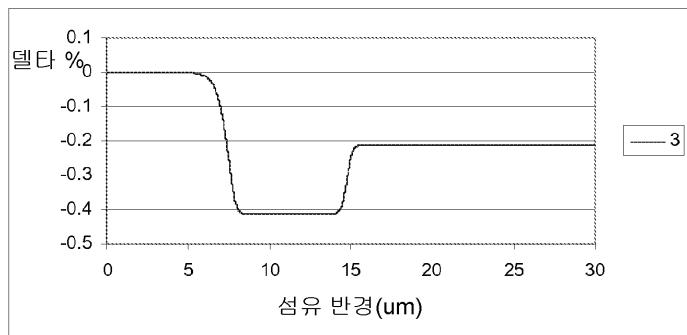
도면2



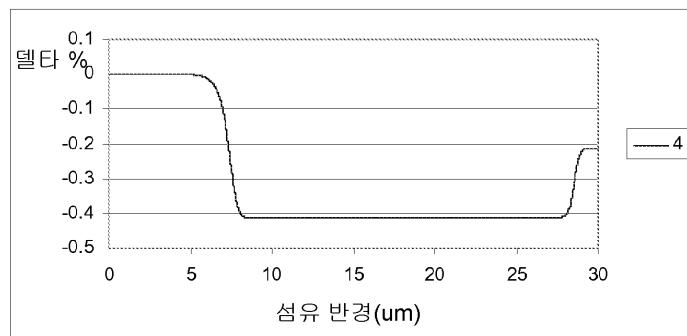
도면3



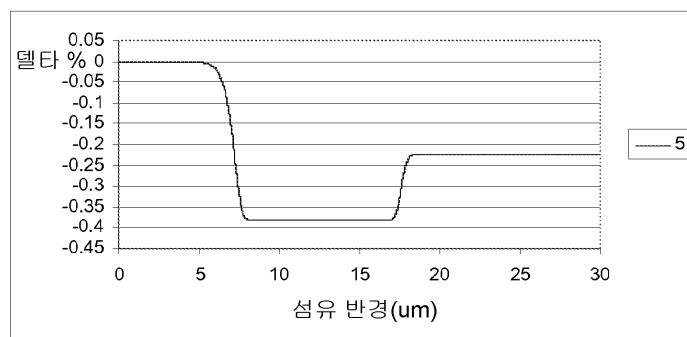
도면4



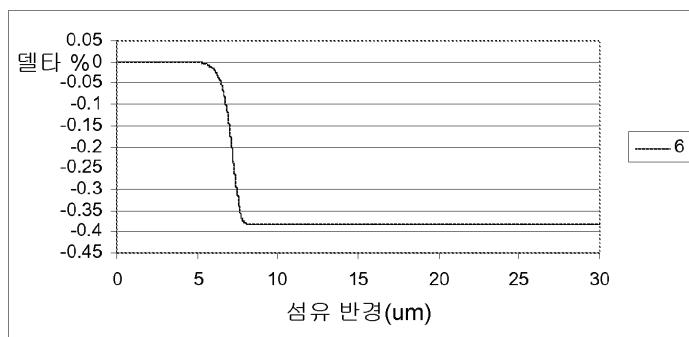
도면5



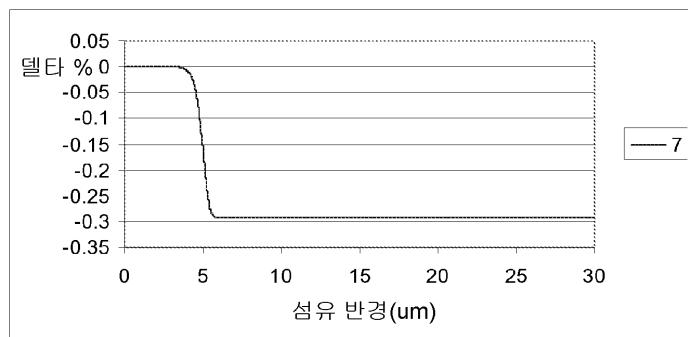
도면6



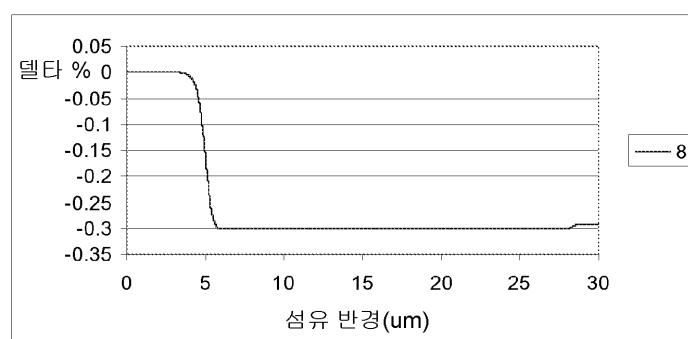
도면7



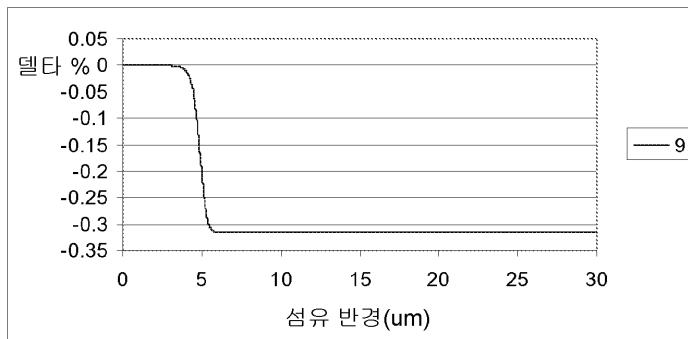
도면8



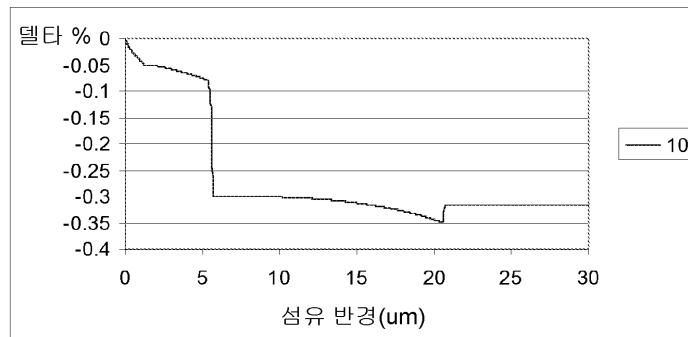
도면9



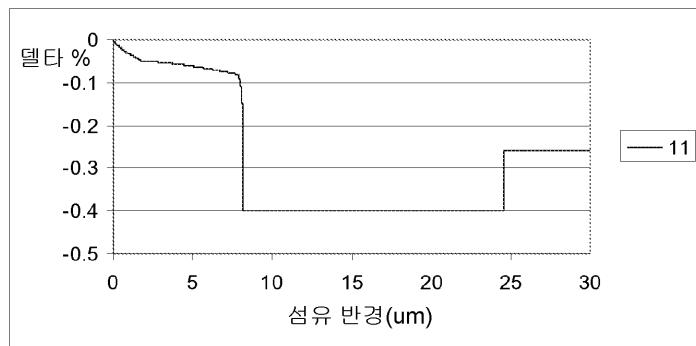
도면10



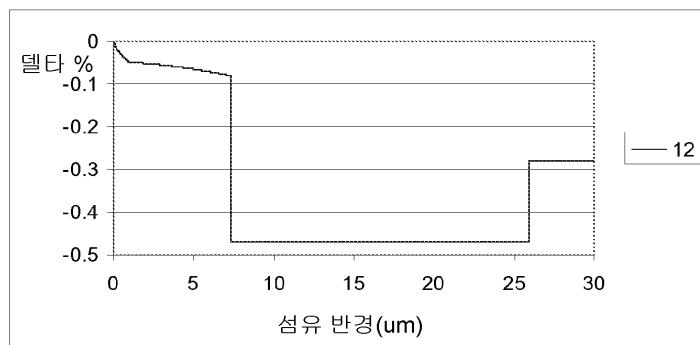
도면11



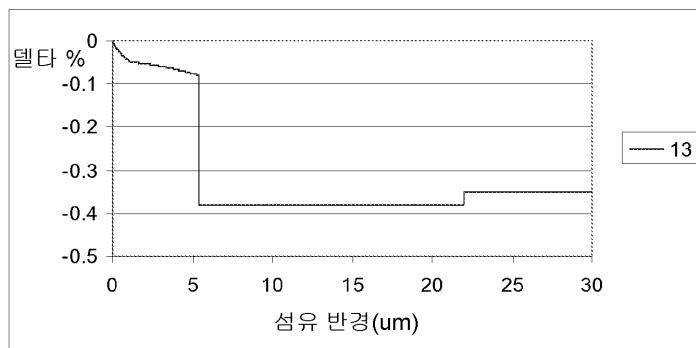
도면12



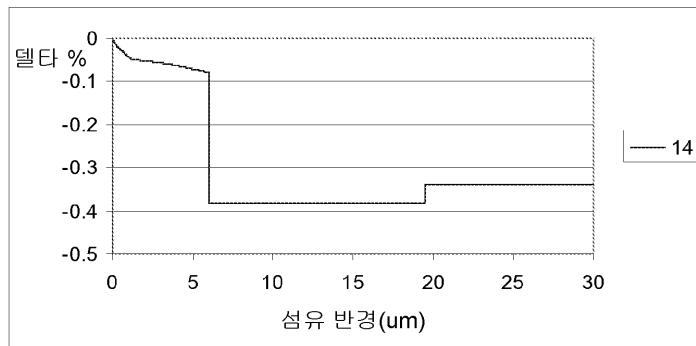
도면13



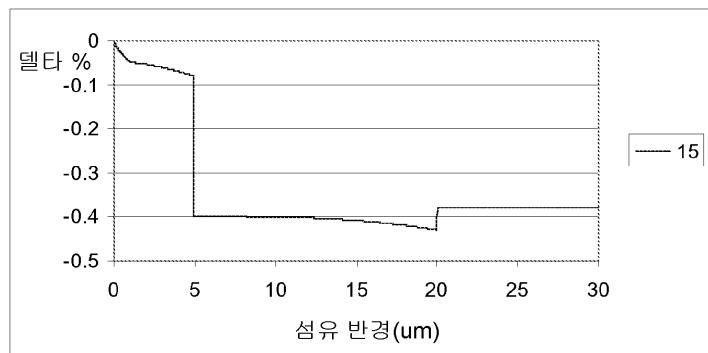
도면14



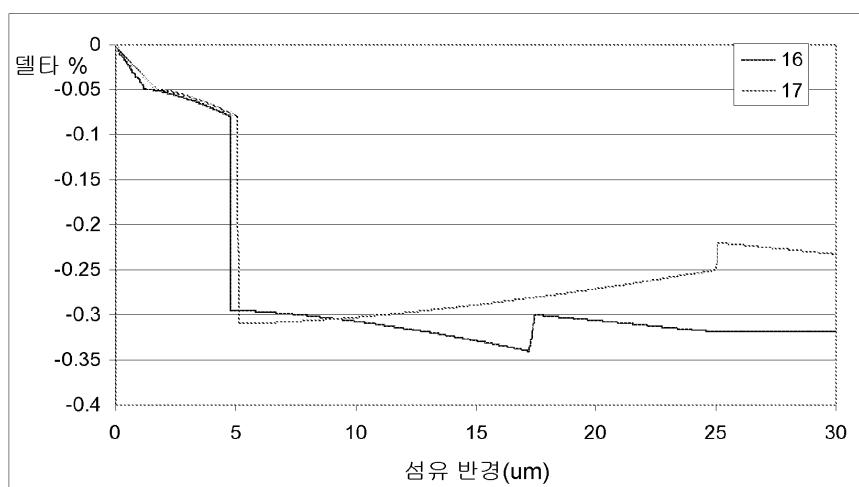
도면15



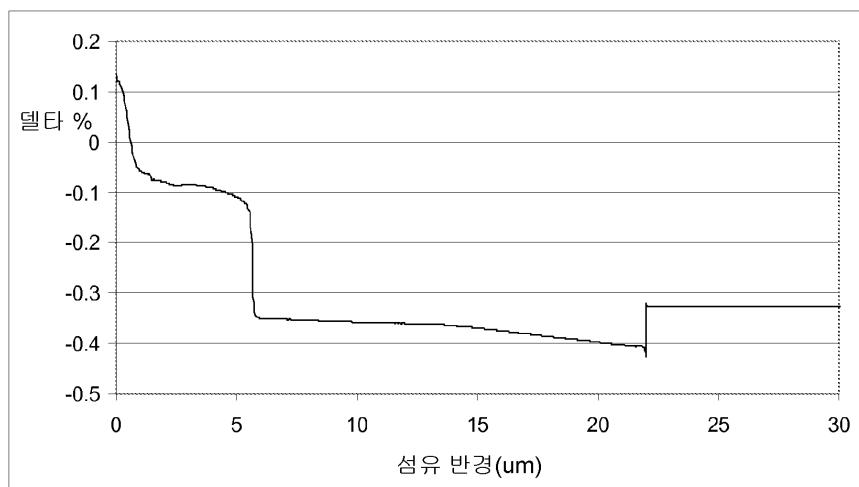
도면16



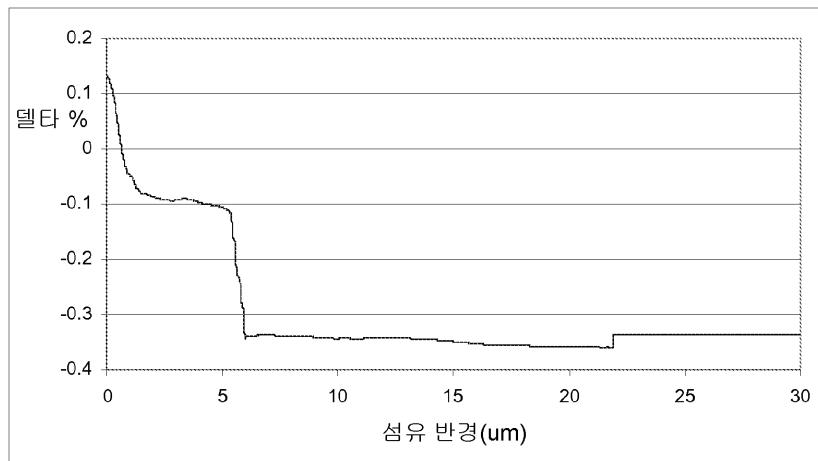
도면17



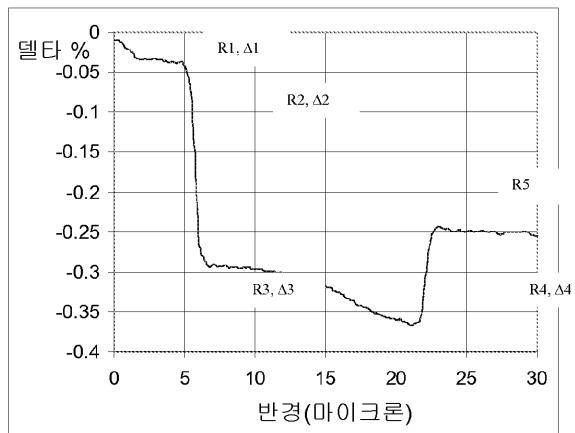
도면18



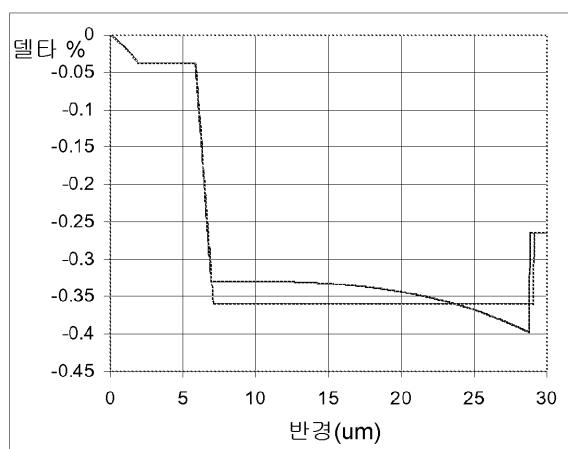
도면19



도면20



도면21



도면22

