

다중모드 광섬유 테이퍼를 이용한 모드 크기 변환기

김광택[†] · 박규하 · 현웅근

호남대학교 전자·광공학부
Ⓣ 506-714 광주 광산구 서봉동 59-1

정용민 · 이병하

광주과학기술원 정보통신공학과
Ⓣ 500-712 광주 북구 오룡1동

(2007년 7월 25일 받음, 2007년 8월 20일 수정본 받음)

다중모드 광섬유 테이퍼(taper)를 이용하여 레이저와 광섬유 혹은 두 개의 서로 다른 광섬유 사이의 효과적인 광결합을 위한 모드 크기 변환기를 제안하고 구현하였다. 이 소자의 입력 단은 다중 모드 구조이고 출력단은 단일 모드 구조이다. 소자의 구조 및 광원과 소자사이의 결합 조건이 결합 효율에 미치는 영향을 이론적으로 분석하였다. 이론적 결과는 제안된 소자가 가우시안 빔을 단일모드 광섬유로 거의 손실 없이 결합할 수 있는 것을 보였다. 제안된 소자를 두 개의 마이크로 토치가 부착된 장비를 이용해 제작하였다. 실험 결과 제작된 다중모드광섬유 테이퍼를 통해 50 μm 빔 크기를 가지는 가우시안 빔을 단일모드 광섬유로 효과적으로 결합할 수 있는 것을 보였다. 소자의 삽입 손실은 1.3 dB였다.

주제어 : Multi-mode fiber, Fiber taper, Mode convertor, Beam coupling, Fiber laser

I 서 론

광섬유에 높은 열을 가하면서 양쪽에서 서로 당기어 주면, 즉 광섬유에 테이퍼를 인가하면, 광섬유가 늘어나면서 가늘어진다. 단일모드 광섬유의 경우, 테이퍼로 인하여 코어가 점점 가늘어지면 반대로 코어 모드의 크기는 점점 확장된다. 단일모드 광섬유 테이퍼는 높은 비선형 특성을 얻기 위한 소자,^[1] 다양한 광센서,^[2,3] 근접장 주사 현미경의 팁,^[4] 음향광학 필터^[5] 등에 다양한 응용이 보고되고 있다. 다중모드 광섬유의 테이퍼는 단일모드 광섬유의 경우와 다른 특성을 가지고 있어, 이들을 이용한 응용들이 보고되고 있다. 특히 여러 개의 다중모드 광섬유를 다발로 묶어 테이퍼링하고 이로 인하여 가늘어진 다중모드 다발을 하나의 다중모드 광섬유로 단면 결합시킨 다중모드 빔 합성기가 보고된 바 있다.^[6] 다중모드 광섬유의 경우, 테이퍼를 인가하여 광섬유의 굴절을 점점 가늘게 하면 한쪽끝단은 다중모드 광섬유의 특성을 가지며 다른 한쪽은 단일모드 광섬유의 특성을 갖는 모드 변환기를 구현할 수 있다.^[7,8] 이러한 모드변환 소자의 광결합 효율은 광원의 형태에 민감하다.

다중모드 광섬유 테이퍼는 크게 세 가지의 응용 가능성이 있다. 첫째는 일반 레이저광 혹은 표면 발산광을 단일모드 광섬유에 결합할 때 렌즈 대신에 이용 할 수 있는 가능성이고, 둘째는 고출력 광섬유 레이저에 이용되는 대구경 코어 광섬유와 일반 단일모드 광섬유 사이의 광 결합이다. 마지막 셋째의 경우는 광섬유와 채널 도파로(channel optical waveguide)

사이의 광 결합이다. 다중모드 광섬유 테이퍼 소자를 이러한 목적으로 사용하는 것을 고려하여 여러 변수가 광 결합 특성에 미치는 영향을 본 논문에서 분석하였다. 소자의 해석 방법으로 빔전파 방법(Beam propagation method)을 이용하였는데 레이저 빔이나 광섬유 광원의 모양이 대부분 가우시안 형태에 가깝다는 사실에 입각하여 입력광원으로 가우시안 빔을 가정하였다. 이를 이용하여 광섬유 테이퍼에서 테이퍼의 길이, 입사빔의 크기, 입사되는 빔이 광섬유 코어의 중심에서 벗어난 정도(off-set), 입사각의 어긋남 등이 소자의 광 결합 효율에 미치는 영향을 분석하였다. 마지막으로 다중모드 광섬유 테이퍼를 실험적으로 구현하여 큰 모드 크기를 갖는 가우시안 빔이 효과적으로 단일모드 광섬유에 결합될 수 있음을 실험으로 확인하였다.

II. 소자 구조 및 동작 원리

제안된 소자는 아래 그림 1과 같이 광섬유를 구성하는 코어와 클래딩이 길이방향에 따라 점점 가늘어지는 다중모드 광섬유 테이퍼 형태를 가진다. 광섬유의 굴절률 분포는 계단형을 가정하였으며 한쪽 끝단은 다중모드 구조이며 다른 한쪽 끝단은 단일모드 구조를 갖도록 하였다. 소자 해석을 위해 다중모드 광섬유의 코어 지름을 50 μm 으로 가정하였고 코어의 굴절률은 1.449, 클래딩의 굴절률은 1.444로 각각 가정하였다. 테이퍼 끝단의 코어 지름을 8 μm 로 하였으며 테이퍼링 과정에서 코어 및 클래딩의 굴절률은 변하지 않는 것으로 가정하였다. 입사광의 파장은 1550 nm로 가정하였다.

[†] E-mail: ktkim@honam.ac.kr

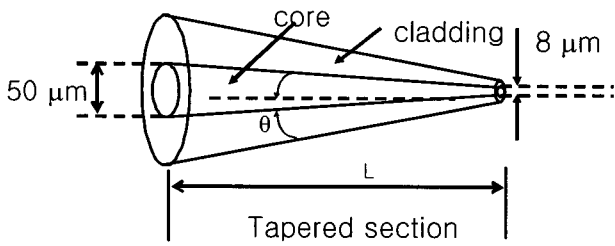


그림 1. 다중모드 광섬유 테이퍼의 구조.

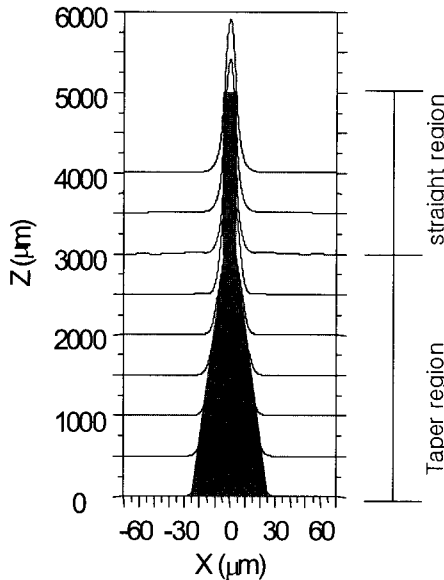


그림 2. 다중모드 광섬유 테이퍼를 진행하는 모드의 변환 과정.

입력단에서 기본 모드 외 고차모드들이 입력되면 최 고차모드부터 점점 클래딩 밖으로 그 에너지가 빠져 나가고 테이퍼 끝단에서는 오직 기본 모드만 코어로 갇혀 진행 할 수 있다.^[8]

그림 2는 다중모드 광섬유 테이퍼 끝단에 단일모드 광섬유가 부착된 구조에서 가우시안 빔이 입사 되었을 때 빔의 전파과정을 빔전파 방법으로 simulation한 결과를 보여주고 있다. 즉 모드 크기가 광섬유 테이퍼 영역에서 모드 진화과정(mode evolution)으로 인하여 감소하게 되어 효과적으로 단일모드 광섬유에 큰 손실 없이 광 파워를 전달 할 수 있음을 보여 주고 있다.

III. 다중모드 광섬유 테이퍼 특성 분석

본 논문에서는 가우시안 빔이나 광섬유 광원이 다중모드 광섬유 테이퍼에 입력되었을 때 소자 끝단에 부착된 단일모드 광섬유로 광파워를 전달 할 수 있는 효율을 빔전파방법 (beam propagation method)을 이용하여 분석하여 보았다. 소자의 테이퍼 길이(L), 입력광의 빔 크기, 광원이 소자 중심에서 벗어난 정도, 그리고 광원의 각 어긋남 등이 소자의 결합 효율에 미치는 영향 등을 분석하였다.

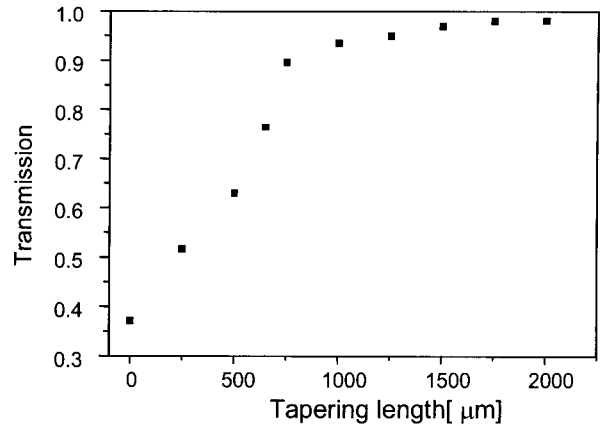


그림 3. 테이퍼 영역의 길이(L)에 따른 광파워 전달비(transmission).

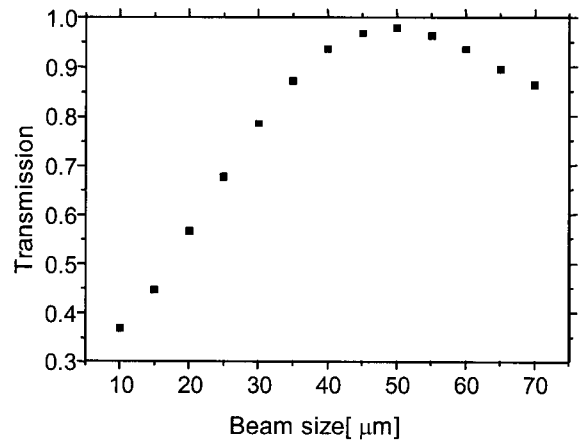


그림 4. 모드 크기에 따른 광파워 전달비.

우선 테이퍼 영역에서 테이퍼각(θ)의 영향을 분석하였다. 테이퍼 길이(L)가 길수록 테이퍼각(θ)은 감소한다. 다중모드 광섬유 테이퍼 끝단에서 코어의 지름을 일반 단일모드 광섬유의 코어 지름(8 μm)과 동일하도록 가정하였고 입사광은 다중모드 광섬유의 기본 모드를 갖는 것으로 가정하였다. 해석 구조는 그림 2와 동일하게 하였으며 다만 테이퍼 길이만 바뀌도록 하였다. 그림 3은 이의 계산 결과를 보여 주는데 광파워 전달비(transmission)가 테이퍼 길이에 따라 증가함을 알 수 있으며 2.0 mm 이상이 되면 전달비가 0.97 이상이 됨을 보여준다. 테이퍼 길이 2.0 mm를 테이퍼 각(θ)으로 환산하면 0.61°에 해당되며 전달비(transmission)은 입력광의 광파워와 단일모드 광섬유에 결합된 광파워의 비로 정의하였다.

그림 4는 다중모드 광섬유 테이퍼 소자의 테이퍼링 길이를 2.0 mm으로 고정하고 입사광의 빔크기(일명 스폿크기, spot size)에 따른 광파워 전달비를 계산한 결과이다. 여기서 빔크기는 전기장의 세기가 최대치의 1/e² 만큼 감소하는 점들로 이루어진 원의 지름으로 정의하였다. 그림 4로부터 알 수 있듯이 입력광의 빔크기가 다중모드 광섬유의 기본 모드의 크기인 50 μm와 일치할 때 가장 효과적으로 광파워가 단일모드 광섬유로 전달됨을 알 수 있다. 입력광의 빔 크기가 아

주 작을 경우, 입력광은 테이퍼 시작점에서 광섬유 길이 방향으로 진행하면서 회절에 의해 넓게 퍼져 나간다. 이때 코어와 클래딩 경계에서 전반사에 의해 여러 고차모드를 여기시키고, 여기 된 고차모드는 테이퍼 영역에서 코어의 크기가 줄어들면서 더 이상 코어에 갇혀 진행하지 못하고 클래딩 밖으로 빠져나간다. 반면 모드의 크기가 다중모드 광섬유의 기본 모드 크기($\sim 50 \mu\text{m}$)보다 더 큰 경우, 모드 크기의 비정합(mode mismatching)에 의한 손실이 발생한다. 본 계산의 결과, 광 파워 전달비가 85% 이상 되기 위한 입사빔의 최대 크기는 $70 \mu\text{m}$ 정도로 최소 크기인 $35 \mu\text{m}$ 의 두 배 정도가 됨을 알 수 있다.

입력광의 중심위치가 테이퍼 입력단의 중심 위치와 일치되지 않았을 때 발생하는 광손실을 계산하여 그림 5에 나타내었는데 다중모드 광섬유 테이퍼를 통해 입력되는 경우와 테이퍼 없이 직선 단일모드 광섬유에 결합될 때를 서로 비교하였다. 이때 입사 빔의 크기는 두 경우 각각 $50 \mu\text{m}$ 및 $9 \mu\text{m}$ 로 설정하였다. 그림 5를 통해 알 수 있듯이 다중모드 광섬유 테이퍼를 통해 광을 결합할 때, 코어 중심에서 벗어난 거리에 따른 광파워 전달비의 감소가 단일모드 광섬유에 직접 결합하는 것보다 상대적으로 작게 나타났다. 예를 들어 전달비가 80%로 이상 유지하기 위해서는, 다중모드 광섬유 테이퍼를 이용할 경우 약 $8.0 \mu\text{m}$ 이내의 허용 오차 범위를 가지지만 단일모드 광섬유의 경우는 $2.0 \mu\text{m}$ 로 좁은 허용 오차범위를 가진다. 이는 다중모드 광섬유 테이퍼를 이용할 경우 광섬유와 광섬유 결합시 측방향 비정렬 허용오차 범위를 증가시킬 수 있음을 뜻한다.

그림 6은 다중모드 광섬유 테이퍼에 광이 경사지게 입력할 때 발생하는 손실, 즉, 각 어긋남이 결합 효율에 미치는 영향을 분석한 결과이다. 이 경우도 마찬가지로 단일모드 광섬유에 직접 결합하는 경우와 비교 분석하였다. 다중모드 광섬유 테이퍼가 있는 경우 각(angle) 어긋남 오차에 의한 손실이 테이퍼가 없는 경우 보다 더 크게 나타났다. 이는 다중모드 구

조에서 기본모드가 차단 조건에 매우 가까이 있기 때문으로 분석된다.

이상의 이론적 분석을 통해 다중모드 광섬유 테이퍼 소자를 빔크기가 큰 레이저광이나 표면 발산 레이저 다이오드의 출력을 단일모드 광섬유에 결합하기 위한 용도로 이용 가능성을 보였다. 테이퍼 영역 길이가 일정 값 이상만 유지하면 결합 효율은 최적의 조건에서 97% 이상 결합이 가능함을 보였다. 다중모드 광섬유 테이퍼의 광원과 광섬유 사이의 측방향 정렬오차에 대한 허용 범위가 일반 단일모드 광섬유의 그것에 비해 개선되는 효과는 있었지만 각 어긋남에 대해서는 오히려 악화되었다.

IV. 소자 제작

실험적 검증을 위하여 클래딩의 지름이 $200 \mu\text{m}$ 이고 코어의 지름이 $42 \mu\text{m}$ 인 계단형 굴절률 분포를 갖는 다중모드 광섬유를 제작하였다. 이 광섬유의 코어와 클래딩의 굴절률 차이는 약 0.004로 측정되었다. 준비된 광섬유를 두 개의 마이크로 토치가 부착된 광섬유 커플러 제조 장치를 이용하여 테이퍼링 하였는데 산소와 프로판 혼합 가스 불꽃이 광섬유를 따라 왕복 운동하는 동안 광섬유 양단에 장력을 인가하는 방법을 사용하였다. 광섬유를 25 mm 정도 인장했을 경우, 테이퍼링 된 중심 부분에서의 코어 지름이 일반 단일모드 광섬유의 코어 지름과 거의 일치시킬 수 있었다. 그림 7은 다중모드 광섬유 테이퍼의 중간 부분 사진이다. 테이퍼링 후 광섬유 클래딩의 지름을 측정한 결과 테이퍼링 전에 비해 23%로 감소하였다. 이는 테이퍼 끝단에서 코어의 지름이 $9.6 \mu\text{m}$ 로 되어 1550 nm 파장에서 단일모드가 됨을 나타낸다.

제작된 다중모드 광섬유 테이퍼의 특성을 파악하기 위한 실험의 구성도를 그림 8에 나타내었다. 실험의 목적은 큰 빔크기를 가지는 가우시안 형태의 입사광을 본 연구에서 제시하는 다중모드 광섬유 테이퍼를 통해 단일모드 광섬유에 효

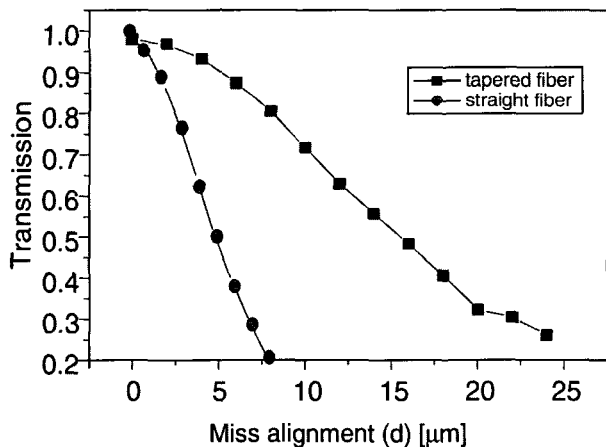


그림 5. 측방향 비정렬에 따른 광파워 전달비, 여기서 d는 광원과 소자의 중심 사이에 어긋남 길이를 나타냄.

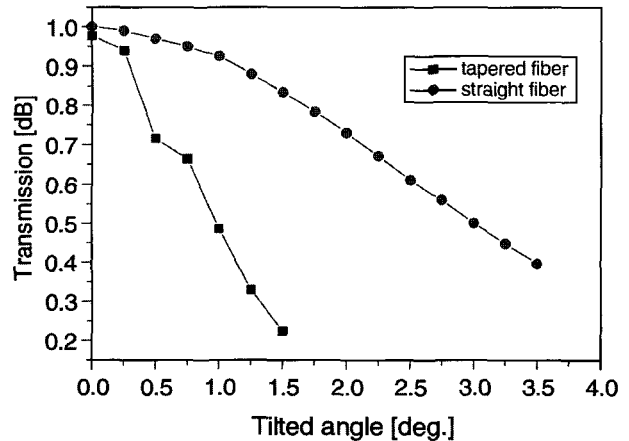


그림 6. 각 어긋남에 따른 광파워 전달비.

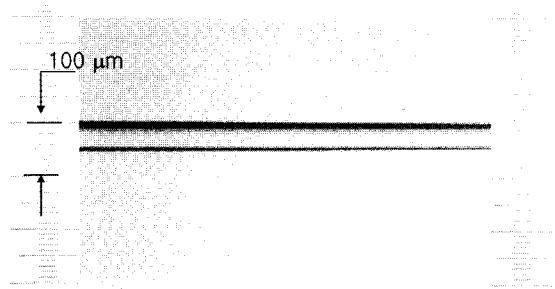


그림 7. 광섬유 테이퍼 중간 부분 사진.

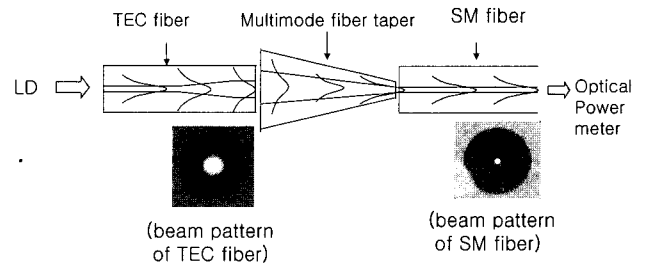


그림 8. 실험 모식도.

표 1. 연결 상태에 따른 삽입손실 비교

앞단 광섬유 구조	뒷단 광섬유 구조	삽입 손실	비고
단일 모드 광섬유	다중 모드 테이퍼	2.8 dB	
TEC 광섬유	SM 광섬유	6.0 dB	다중모드 광섬유 테이퍼가 없는 경우
TEC 광섬유	다중모드 광섬유 테이퍼	1.3 dB	그림 8과 같은 구조

과적으로 결합할 수 있는 지를 파악하는 것이었다. 여기서 실험에 사용한 단일모드 광섬유의 코어와 클래딩의 지름은 각각 9.3 μm와 125 μm이었다.

입사광으로 사용될 큰 직경을 갖는 가우시안 빔을 얻기 위해 열확산 코어 광섬유(TEC fiber: thermally expanded core fiber)를 이용하였다. 단일모드 광섬유에 높은 열을 가해 코어를 확장하면 코어의 굴절률은 감소하지만 코어에 있던 도핑물질이 클래딩 밖으로 확산되면서 모드가 확장된다.^[9] 실험에 사용한 TEC 광섬유의 끝단에서 모드의 크기는 약 50 μm 정도가 되었다. 그림 8에 열확산 광섬유 끝단에서 측정된 출력빔의 모양과 단일모드 광섬유 출력단에서의 빔 모양을 제시하고 있다. 다중모드 광섬유 테이퍼의 한쪽 클래딩의 지름은 200 μm이었고 다른 한쪽은 테이퍼링으로 인하여 매우 가늘어져 일반 단일모드 광섬유 클래딩의 지름 보다 작아졌다. 정확한 실험을 위해 소자 사이의 정렬이 매우 중요한데, 일반적인 용착 접속으로는 외경이 서로 다른 두 광섬유를 정확하게 정렬하면서 접속하기가 매우 어려워 페룰(Ferrule)을 이용한 기계적인 결합 방법을 이용하였다. 이를 위해 두 종류의 페룰(Ferrule)을 준비하였는데, 하나는 일반 광섬유용으로 125 μm 지름의 구멍이 있고 다른 하나는 다중모드 광섬유 테이퍼를 고정하기 위해 지름이 200 μm인 구멍이 형성되어 있다. 페룰 구멍 속에 광섬유를 에폭시로 고정하고 연마하였는데 특히 테이퍼링 후 가늘어진 광섬유가 넓은 페룰 구멍의 중심에 위치할 수 있도록 주의하였다. 두 페룰의 외경은 2.5 mm로 동일하였고 이들을 하나의 슬리브(slide) 속에서 마주 보게 고정하여 두 광섬유 간의 정렬이 자동적으로 이루어지도록 하였다. 이런 구조로 광원으로부터 소자 끝단까지의 삽입 손실을 측정하였고 그 결과를 표 1에 제시하였다.

표 1에서 알 수 있듯이 일반 단일모드 광섬유로 다중모드 광섬유 테이퍼에 광을 입사시켰을 경우 2.8 dB의 다소 큰 손실이 있었다. 이러한 결과는 그림 4로 설명이 가능한데 입사

광의 모드 크기가 작아 입사 시 여러 고차 모드를 여기 시키기 때문에 분석된다. 열확산 코어 광섬유(TEC fiber)로부터 단일모드 광섬유(SM fiber)에 직접 결합시키는 두 번째인 경우는 6.0 dB의 큰 결합 손실을 가지는데 이는 모드 불일치(mode mismatching)에 의한 결과로 설명이 가능하다. 즉, 두 광섬유 구조의 기본 모드 형태가 서로 다르기 때문에 발생하는 손실이다. 마지막으로 열확산 코어 광섬유로부터 발생한 큰 크기의 입사광을 본 연구에서 제시하는 다중모드 광섬유 테이퍼를 거쳐 일반 단일모드 광섬유로 결합시킬 경우의 삽입손실은 1.3 dB로 세 경우 중 가장 작게 측정되었다. 즉 이는 열확산 코어 광섬유로부터 출사되는 50 μm 정도의 큰 빔 크기를 가지는 입사광이 다중모드 광섬유 테이퍼를 끝단에 부착된 단일모드 광섬유로 효과적으로 전달되었음을 의미한다. 1.3 dB의 손실은 열확산 코어 광섬유로부터 출력되는 광원의 빔 크기가 다중모드 광섬유 테이퍼의 기본 모드의 빔 크기와 약간 차이가 나기 때문으로 생각되는데, 다중모드 광섬유 테이퍼 끝단과 단일모드 광섬유 사이의 정렬오차도 하나의 요인으로 파악된다.

V. 고 찰

본 논문에서는 다중모드 광섬유 테이퍼의 특성 분석을 통해 다중 모드 광섬유 테이퍼를 가우시안 빔을 효과적으로 단일모드 광섬유에 결합하기 위한 소자로 응용 가능성을 알 수 있었다. 기존에 화학적 식각으로 제작된 다중모드 광섬유 테이퍼^[8]의 경우 결합 효율이 10%, 즉 삽입 손실이 10 dB로 보고 된 바 있다. 이러한 식각 방식은 코어 표면에 큰 산란 손실을 발생 시키며 추가적인 클래딩 코팅 공정이 필요하다. 그러나 광섬유에 고열을 가한 후 인장하는 방식은 코어 클래딩 사이에 산란 손실을 줄일 수 있고 제작이 비교적 짧은 시간에 이루어지는 장점이 있다. 최근에 표면 발산 레이저

(VCSEL)를 효과적으로 광섬유에 결합시키기 위한 폴리머 다중모드 광섬유 테이퍼^[10] 및 높은 코어와 클래딩 굴절률 차이를 가지는 도파로와 광섬유 사이의 결합손실을 줄이기 위한 평판 도파로형 모드 변환기^[11]에 대한 연구 결과가 보고되었다. 그러나 본 논문에서 제시하는 다중모드 광섬유 테이퍼 소자를 이용할 경우, 매우 큰 빔 크기를 가지는 레이저 빔도 단일모드 광섬유로 결합이 가능하며 제작시간이 수분 정도로 매우 짧아 기존의 방법보다 효과적이라 판단된다.

제안된 다중모드 광섬유 테이퍼의 다른 응용으로 고출력 광섬유 레이저에 이용되는 대구경 코어 광섬유와 일반 단일모드 광섬유 사이의 결합을 들 수 있다. 고출력 광섬유에 단위 면적당 광파워 밀도를 줄이기 위해 코어와 클래딩 간의 굴절률 차이는 작지만 코어가 수십 마이크로 정도로 큰 지름을 갖는 광섬유가 이용되고 있다. 이러한 고출력 광섬유 레이저 출력을 일반 단일모드 광섬유로 효과적으로 결합하기 위해 다중모드 광섬유 테이퍼가 이용될 수 있다.

VI. 결 론

다중모드 광섬유를 점점 가늘게 하여 모드크기를 원하는 크기로 바꿀 수 있음을 이론과 실험으로 확인해 보았다. 일반 단일 모드 광섬유의 경우 코어의 크기가 줄어들면 모드의 크기는 커지는데 반해 다중모드 구조에서는 이와 반대로 코어 크기가 줄어들면 기본 모드의 크기도 비례해서 감소한다. 한쪽 단은 다중모드 구조로서 50 μm 코어 지름을 가지며 다른 한쪽은 8 μm 코어 지름을 가진 구조에 대해서 분석한 결과 최적의 조건에서 97% 이상의 광파워를 결합할 수 있는 것으로 분석되었다. 또한 측방향 정렬오차에 의한 허용 범위가 증가됨을 확인하였다.

계단형 굴절률 분포를 가진 광섬유를 고열에 노출시켜 다중모드 광섬유 테이퍼를 제작하고 그 특성을 분석하였다. 모드 크기가 50 μm 정도 되는 가우시안 빔을 제작된 테이퍼를 통해 단일모드 광섬유로 결합시 4.7 dB의 삽입 손실 개선 효과가 나타났다. 다중모드 광섬유 테이퍼는 큰 빔크기를 가진 가우시안 형태의 광빔을 단일모드 광섬유에 결합하거나 서로 다른 광섬유 사이의 효과적인 광결합에 사용 할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] T. A. Birks, W. J. Wadsworth, and P. St. J. Russell, "Supercontinuum generation in tapered fibers," *Opt. Lett.* vol. 25, no. 19, 1415-1417, 2000.
- [2] A. Leunga, K. Rijala, P. Mohana Shankarb, and R. Mutharasana, "Effects of geometry on transmission and sensing potential of tapered fiber sensors," *Biosensors and Bioelectronics*, vol. 21, no. 12, pp. 2202-2209, 2006.
- [3] J. Villatoro, A. Diez, J. L. Cruz, and M. V. Andres, "In-line highly sensitive hydrogen sensor based on palladium-coated single-mode tapered fibers," *IEEE sensors J.*, vol. 3, no. 4, pp. 533-537, 2003.
- [4] A. J. Fielding, K. Edinger, and C. C. Davis, "Experimental observation of mode evolution in single mode tapered optical fibers," *J. of Lightwave Technol. Lett.*, vol. 17, no. 9, pp. 1649-1656.
- [5] R. Feced, C. Alegria, M. N. Zervas, and R. I. Laming, "Acoustooptic attenuation filters based on tapered optical fibers," *IEEE J. of Quantum Electronics*, vol. 5, no. 5, pp. 1278-1288.
- [6] A. Kosterin, V. Temyanko, M. Fallahi, and M. Mansuripur, "Taper fiber bundles for combining high-power diode lasers," *Appl. Opt.*, vol. 43, no. 19, pp. 3893-3900.
- [7] Yi-Fan Li and John W. Y. Lit, "Transmission properties of a multimode optical-fiber taper," *J. Opt. Soc. Am. A*, vol. 2, no. 3, 1985.
- [8] Y. Yang, J. Lee, K. Reichard, P. Ruffin, F. Liang, D. Ditto, and S. Yin, "Fabrication and implementation of a multi-to-single mode converter based on a tapered multimode fiber," *Opt. comm.*, vol. 249, pp. 129-137, 2005.
- [9] 김광택, 이규효, 신은수, 황보승, 손경락, 김정근, 이동호, 송재원, "측면 연마된 열확산 코어 광섬유와 외부 물질의 분산 특성 차이를 이용한 단파장 통과 필터", *한국광학회지*, 6권, 6호, pp. 494-499, 2005
- [10] A. Yacoubian, W. Lin, and J. H. Bechtel, "Fabrication of polymer waveguide tapers to minimize insertion loss," *Proceedings of SPIE--the international society for optical engineering*, v. 4490, pp. 22-31, 2001.
- [11] Jun-Seok Choi, Jin-Kyong Oh, Dong-Hwan Lee, and Hyung-Jong Lee, "Desig of a tapered-underlaid spot-size converter with an offset," *J. of Optical Society of Korea*, vol. 11, no. 1, pp. 40-43, 2007.

Mode Size Converter based on Multimode Fiber Taper

Kwang Taek Kim[†], Kiu Ha Park, and Woong Keun Hyun

Department of Electronic and Photonic Engineering, 59-1, Seobong-doing, Kwangsan-Gu, Gwangju 506-714, Korea

[†]*E-mail: ktkim@honam.ac.kr*

Yongmin Jung and Byeong Ha Lee

Department of Information and Communications, Gwangju Institute of Science and Technology,

1 Oryong-dong, Buk-gu, Gwangju, 500-712, Korea

(Received July 25, 2007, Revised manuscript August 20, 2007)

Based on the multimode fiber taper, a mode size converter for effective optical beam coupling between laser and optical fiber or between the two different optical fibers has been proposed and demonstrated. The device has a multimode input end and a single mode output end. The influence of various parameters, including device structure and launching conditions, on the coupling efficiency has been theoretically analyzed. The theoretical results revealed that the gaussian beam can be coupled into a single mode fiber without considerable insertion loss. The proposed multimode fiber taper has been fabricated using heating and pulling equipment incorporating two micro-torches. Experimental results showed that an optical beam with 50 μm of large beam size was effectively coupled into single mode fiber through the multimode fiber taper. The insertion loss of the device was 1.3 dB.

OCIS code : 230.0230, 060.3210, 060.2340.