

파장가변 광섬유 링 레이저를 이용한 아세틸렌($^{13}\text{C}_2\text{H}_2$) 분광

유한영[†] · 오정미 · 이등한

충남대학교 물리학과 광전자실험실

Ⓣ 305-764 대전광역시 유성구 궁동 220번지

문한섭 · 이원규 · 박갑동 · 서호성

한국표준과학연구원 정보통신표준센터

Ⓣ 305-340 대전광역시 유성구 도룡동 1번지

(2003년 8월 1일 받음, 2003년 10월 20일 수정본 받음)

본 연구에서는 C-밴드와 L-밴드 파장(1525 nm-1625 nm)에서 파장 변화가 가능한 광섬유 링 레이저를 제작하고, 이를 이용하여 아세틸렌 분자 전이선에 대한 분광연구를 수행하였다. 제작된 광섬유 링 레이저는 공진기 내부에 FFP-TF(Fiber Fabry-Perot Tunable Filter)를 이용하여 약 102 nm(1510.4-1612.6 nm)의 범위에서 파장을 연속 가변할 수 있었다. 광섬유 링 레이저의 파장가변특성을 이용하여 C-밴드(1525-1565 nm)에서 흡수선이 많은 아세틸렌($^{13}\text{C}_2\text{H}_2$) 분자에서 50개 이상의 전이선에 대하여 높은 신호대 잡음비를 갖는 흡수 스펙트럼을 측정하였다.

주제어 : optical fiber laser, fiber Fabry-Perot tunable filter.

I. 서 론

대용량 광통신 수요를 만족하기 위하여 DWDM 전송기술이 최근에 널리 활용되고 있고, 이를 위한 응용광원으로 광섬유 레이저가 광범위하게 사용되고 있다. 또한, 광통신 파장영역의 확대에 따라 L-밴드를 포함하는 C+L-밴드에서 동시 발진하는 파장가변 광섬유 레이저에 대한 필요성이 요구되고 있다.^[1,2] 표 1에 나타나 있는 바와 같이 매우 넓은 광통신 밴드와 파장대역에서^[3] DWDM 시스템에 사용되는 장치들 테스트하거나 광통신 부품의 특성을 측정하기 위해서는 넓은 영역에서 파장가변성을 가지는 광원이 필수요소이다. 이러한 광원에 요구되는 특성으로는 높은 출력, 넓은 파장가변 범위, 간섭효과를 피하기 위한 낮은 결맞음성, 그리고 편광에 따른 이득이나 손실을 제거하기 위한 비편광성 등이 있다. 종래의 외부 공진기 반도체 레이저의 파장가변 범위는 100 nm 정도로서 비교적 넓고 상대적으로 높은 출력을 가지고 있지만 단일 편광과 높은 결맞음성을 가진다는 단점이 있다. 한편, EDFA(erbium doped fiber amplifier)의 증폭자발방출(amplified spontaneous emission; ASE)은 결맞음성이 낮고 편광 의존성이 작은 장점을 가지고 있지만 출력이 낮고 파장 가변범위가 EDFA의 대역폭에 제한을 받는다. 이에 비해 광섬유 레이저는 반도체 레이저나 EDFA가 갖고있는 단점을 보완할 수 있다. 최근에 다층박막(multi-layer thin film) 간섭 대역통과필터(band pass filter)를 사용하여 EDF의 길이를 최적화함으로써 110 nm(1506.4-1618.6 nm)이상의 범위에서 파장을 가변할 수 있는 광섬유 링 레이저가 보고된 바 있다.^[4]

본 연구에서는 길이 5.4 m의 EDF(Er^{3+} 800 ppm)를 이득 매질로 하여 C-밴드 영역의 파장을 발진시킴과 동시에 L-밴드에서의 낮은 효율을 극복하기 위해서 길이 70 m의 EDF를 이용하여 이중구조를 갖는 공진기를 구성하여 광섬유 링 레이저를 제작하였다. L/C coupler를 이용한 직렬 연결된 구조의 레이저는 다른 소자의 사용 없이 L-밴드 발진 파장에서 낮은 문턱 전류값을 갖는다. 또한 링 형태로 구성된 공진기 내에 넓은 대역폭을 갖는 FFP-TF(Fiber Fabry-Perot Tunable Filter)를 삽입하여 레이저 발진 파장을 1510.4 nm부터 1612.6 nm까지 약 102 nm 범위에서 연속 가변할 수 있었다. FFP-TF를 이용한 광섬유 링(ring) 레이저의 파장가변특성을 이용하면 필터나 grating과 같은 광학소자의 특성을 조사할 수 있고, multiplexer, interleaver와 같은 광통신 핵심부품의 성능 평가에 사용될 수 있으며, 광통신 파장 영역에서의 분자 분광학에도 응용할 수 있다. 광섬유 레이저의 이러한 여러 응용분야 중에서, 본 실험에서는 제작한 광섬유 링 레이저를 광원으로 하여 아세틸렌($^{13}\text{C}_2\text{H}_2$) 분자에 대한 흡수분광실험을 수행하였다. 아세틸렌 분자는 1550 nm 파장영역에서 50개 이상의 흡수선을 가지기 때문에 광통신 파장영역에서 절대 파장 기준으로 많이 이용되고 있다. 광섬유 링 레이저의 파장을 아세틸렌 분자의 흡수선에 안정화하여 사용하게 되면 분자분광학, 광섬유 센서, 주파수 표준 분야, 그리고 광통신에서 ITU-T(International Telecommunication Union-Telecommunication Standardization Sector) grid의 절대 파장 기준을 위한 광원으로서의 가능성이 기대된다.^[5-11]

II. Erbium-doped fiber와 광섬유 가변필터

본 연구에 사용된 EDF는 Lucent사의 HG 980으로 도핑

[†]E-mail: hyryu@kriss.re.kr

표 1. 광통신 밴드와 파장대역

Telecommunication bands	Wavelength range
O-밴드 (Original)	1260-1360 nm
E-밴드 (Extended)	1360-1460 nm
S-밴드 (Short wavelength)	1460-1530 nm
C-밴드 (Conventional)	1530-1565 nm
L-밴드 (Long wavelength)	1565-1625 nm
U-밴드 (Ultralong wavelength)	1625-1675 nm

표 2. EDF의 주요특성

1. Dimensions/Geometric Properties	
Co-dopants	Ge/Al
Core radius	0.96 μm
Fiber outside diameter	125 μm
Refractive index diff (Δn)	0.0365
Estimated erbium concentration	2.65 e ²⁵ m ⁻³
MFD (Petermann 2) 1.55 μm	5.12 μm
2. Optical Properties	
Cutoff wavelength	820 μm
Loss at 1558.5 nm	6.0 dB/m
Peak absorption (near 1530 nm)	17.1 dB/m
Peak absorption (near 980 nm)	14.1 dB/m
Numerical aperture	0.328
Background loss 1.2 μm	11.18 dB/km
Est. background 1.55 μm	4.75 dB/km

농도는 2.65×10²⁵m⁻³이고 코어반경은 0.96이며, 1530 nm에서 17.1 dB/m의 최대흡수를 가지며 자세한 특성은 표 2와 같다. 광섬유 링 레이저는 자발방출에 의한 자체 신호가 링 공진기를 돌면서 유도방출을 일으키고 이득이 공진기 손실과 같아지는 순간 레이저가 발진한다. 광섬유 링 레이저에서 레이저 발진파장은 내부공진기 필터에 의해 결정된다. 파장가변필터는 유전체 필터, grating 필터, FFP-TF의 3가지 종류가 보통 많이 쓰이고 있다. 유전체 필터는 가장 일반적인 필터로 파장가변범위가 40 nm이내고 grating 필터는 외부공진기 LD를 제작할때 많이 사용하는데 파장 가변범위는 대략 100 nm이다. 하지만 grating 필터는 5 dB 이상의 광섬유 결합 손실과 편광 의존성이 약하다는 단점이 있다. 이와 대조적으로 FFP-TF는 100 nm 이상의 파장 가변범위와 2 dB 이하 결합 손실, 그리고 C.1 dB 정도의 낮은 편광의존성을 가지는 장점을 가지기 때문에 본 실험에서는 FFP-TF를 채택하여 광섬유 링 레이저를 제작하였다.^{[12],[13]}

III. 실험장치

그림 1은 파장가변 광섬유 링 레이저와 아세틸렌 분자의 흡수분광을 위한 실험장치도이다. 본 실험에 사용된 광섬유 링 레이저는 C/L-밴드(1525-1625 nm)에서 연속적으로 파장 변화가 가능하다. 102 nm의 파장 가변 영역을 갖는 광섬유 링 레이저는 5.4 m의 EDF1과 70 m의 EDF2를 각각 980 nm LDs로 순방향 펌프하는 구조로 구성되어 있다. 앞 단의 EDF1은 C-밴드 발진파장의 이득 매질로 사용되었으며, 뒷 단의 긴 길이 EDF2는 L-밴드 발진파장의 이득 매질로 사용되

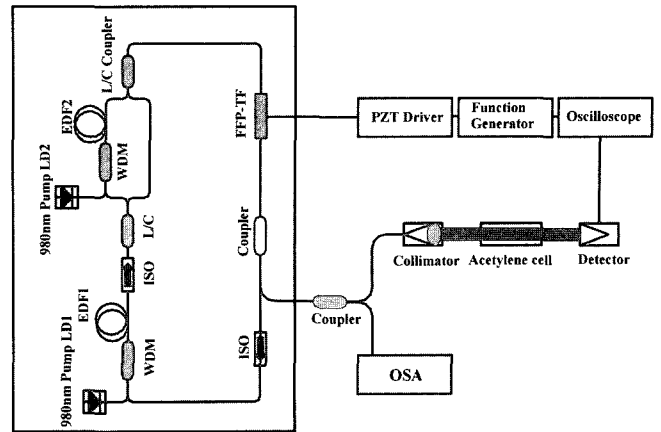


그림 1. C/L-밴드 파이버 레이저와 아세틸렌분자의 흡수분광을 위한 실험장치도(EDF: erbium-doped fiber, WDM: wavelength division multiplexer, ISO: isolator, L/C: L-밴드/C-밴드 WDM, FFP-TF: Fiber Fabry-Perot Tunable Filter).

었다. L-밴드에서 EDF의 단위 길이 당 이득 계수가 C-밴드에 서보다 10배 정도 낮기 때문에 이득을 보상하기 위해 긴 길이의 EDF2를 사용하였다. 공진기 내의 FFP-TF는 1510.4-1612.6 nm 범위에 걸쳐 파장 가변이 가능한 소자로 발진 파장 선택을 위해 사용되었다. Isolator는 발진 파장과 반대 방향으로 진행되는 역방향 ASE를 제거와 공진기 내의 빛이 한 방향으로 진행하도록 하여 원하지 않는 레이징을 억제하는 역할을 한다.

EDF를 980 nm LD로 펌핑함으로써 발생된 자발 방출에 의해 생성된 소 신호 빛은 FFP-TF로 입력된다. 여기서 선택된 신호는 coupler를 통해 그 일부가 다시 공진기로 입력됨으로써 EDF를 지나면서 증폭된다. 결국 소 신호 이득이 공진기 손실과 같아지는 순간 레이저 빛은 레이징 된다. EDF1을 이득 매질로 갖는 C-밴드 발진 신호는 L/C coupler의 투과와 반사특성에 의해 1550-1564 nm를 통과 시키고 1574-1610 nm를 반사시키는 특성상 EDF2를 통과하지 않는다. 반면에 EDF2를 이득 매질로 갖는 L-밴드 발진 신호는 EDF1과 EDF2를 모두 통과하면서 증폭되므로 L-밴드 신호 증폭에 유리하다.

긴 길이의 EDF를 사용하는 L-밴드 EDFA에서 980 nm LD를 여기광원으로 사용하는 경우 펌프의 짧은 흡수 길이로 인해 증폭기의 소 신호 이득특성이 저하되는 문제가 있었다.^[14] L-밴드 발진파장의 경우 충분한 이득을 얻기 위해 긴 길이의 EDF를 사용하므로, 980 nm LD로 펌프하는 L-밴드 어븀첨가 광섬유 링 레이저에서도 동일한 이득 특성을 보인다. 소 신호 이득이 레이저의 문턱 전류와 연관되기 때문에 이로 인해 문턱 전류가 높아지는 문제가 발생된다.^[15] 본 논문에서는 C-밴드 신호 발진을 위한 앞 단과 L-밴드 신호 발진을 위한 뒷 단을 L/C couplers를 이용하여 직렬 연결한 구조를 제안함으로써 레이저의 문턱전류를 낮출 수 있었다.

FFP-TF는 넓은 영역의 FSR(Free Spectral Range)과 좁은 영역의 FSR을 갖는 두 종류의 필터를 각각 탈·부착이 가능하도록 제작하였다. 외부온도에 의한 FFP-TF의 파장 특성변화를 막기 위해서 ±0.1°C의 안정도를 가지고(LDT-5910B ILX

Lightwave) 25°C로 온도안정화를 하였다. 10 pm의 분해능을 가지는 광 스펙트럼 분석기(OSA; Advantest Q8384)와 EE-LED (Edge Emitting Light Emitting Diode) 광원(중심파장: 1.5 μm)을 이용하여 두 종류의 FFP-TF의 FSR과 선폭을 측정하였다. 측정된 FFP-TF1, FFP-TF2의 FSR은 각각 13.05 THz, 8.61 THz, 선폭은 각각 5.90 GHz, 12.86 GHz이었고, 삽입손실은 약 3 dB이었다. FFP-TF를 통해 선택된 파장은 70:30 결합기를 통해 30%의 광은 OSA로 모니터링하고 70%의 광은 다시 WDM 결합기 쪽으로 진행하여 광섬유 링 공진기를 형성하게 하였다.

아세틸렌 분자의 흡수 스펙트럼을 얻기 위해서, 광섬유 링 레이저의 출력을 50:50 결합기로 나누어 한쪽은 OSA로 파장을 모니터링하고 다른 한쪽은 분광실험에 사용하였다. 광섬유 링 레이저 광은 평행광 렌즈로 평행광을 만들고 아세틸렌 가스 셀을 통과한 흡수신호를 광 검출기로 측정하였다.

IV. 실험결과

4.1. 광섬유 링 레이저의 파장가변 및 출력 특성

그림 2는 본 연구에서 사용한 두 개의 FFP-TF의 PZT에 인가한 전압에 따른 레이저의 발진파장을 측정한 것이다. FFP-TF1의 전압 증가에 따라서 1510-1612 nm까지 약 102 nm 가변되었고, FFP-TF2는 1507.3-1564.6 nm까지 약 57 nm를 연속적으로 가변할 수가 있었다. FFP-TF1에서 3 V 근처와 FFP-TF2에서 7 V 근처에서의 파장 점프는 EDF의 이득 영역에 속하는 FFP-TF의 공명 모드 중 바로 다음 모드가 이득을 얻기 시작했기 때문에 생기는 현상이다.

아세틸렌 분자의 분광을 위해서는 FFP-TF2의 파장가변범위 정도면 충분하기 때문에 FFP-TF2를 공진기 내에 삽입하여 레이저의 출력특성과 모드특성을 분석하였다. 그림 3는 FFP-TF2 필터를 삽입하고 광섬유 링 레이저의 펌프 파워에 따른 레이저의 출력특성을 조사하기 위해 1530.77 nm의 레이저 발진파장에 고정하고 펌프 파워를 증가시키면서 얻은 출력특성이다. 펌프파워의 출력에 따른 문턱치 여기 파워는 약 19.3 mW,

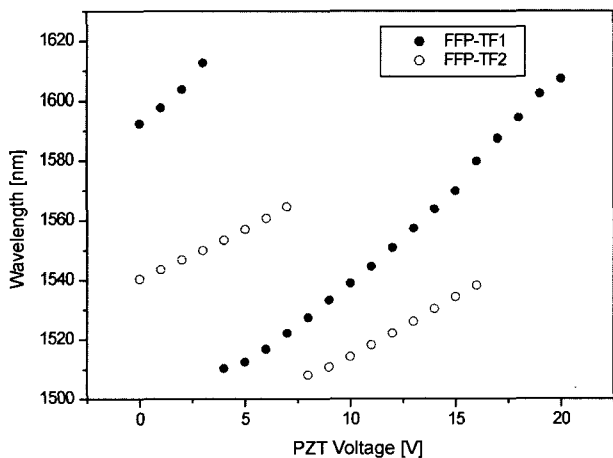


그림 2. FFP-TF의 PZT에 인가된 전압의 증가에 따른 레이저 발진 파장. FFP-TF1(FSR:13.05 THz BW: 5.9 GHz), FFP-TF2 (FSR: 8.612 THz BW: 12.86 GHz).

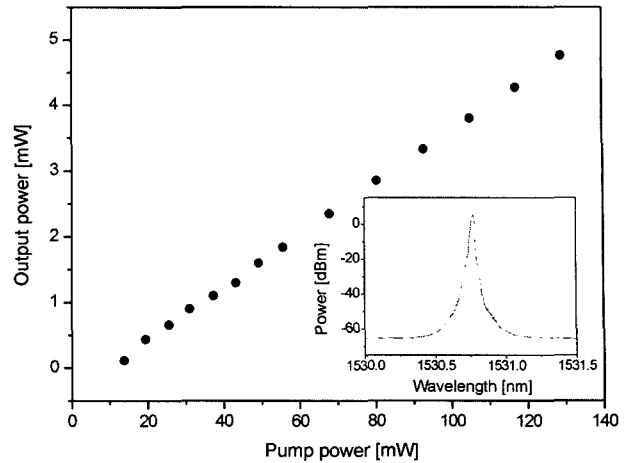


그림 3. 광섬유 링 공진기 내부에 FFP-TF2 필터를 삽입하고 Pump LD1의 펌프파워를 증가시키면서 얻은 C-밴드 (1530.773 nm)의 출력.

기울기 효율(slope efficiency)은 약 4%임을 알 수 있었다. 그림 3 내부에 삽입된 그림은 1530.77 nm의 레이저 발진파장 스펙트럼으로 65 dB 이상의 높은 신호대 잡음비를 가진다.

분해능이 0.01 nm(약 1.25 GHz)인 OSA로는 광섬유 링 레이저의 모드특성을 분석하는 것이 불가능하다. 따라서 FSR이 1 GHz이고 분해능이 4 MHz인 스펙트럼 분석기(Toptica FPI 100)와 파장계(buleigh WA1500)로 레이저의 모드특성 및 선폭을 측정하였다. 광섬유 링 레이저에서 EDF1을 포함한 레이저 공진기의 길이는 약 28 m이고 EDF2를 포함함 총 길이는 약 100 m였다. 따라서, 공진기 길이 L에 따른 공진기 모드 간격(c/nL, n: 굴절률)은 EDF1을 포함한 공진기에 대해 7.5 MHz이고 EDF2를 포함한 공진기에 대해 2 MHz 정도임을 알 수가 있다. 그림 4는 FFP-TF2를 삽입하고 Pump LD1만 동작시키면서 측정한 1538 nm 파장에서 광섬유 링 레이저의 선폭을 측정하여 약 24 MHz였고 단일모드로 동작함을 확인하였다. 하지만, 광섬유의 길이변화와 온도변화의 요인으로 공진기 모드 간격 7.5 MHz와 일치하는 인접모드들의 모드

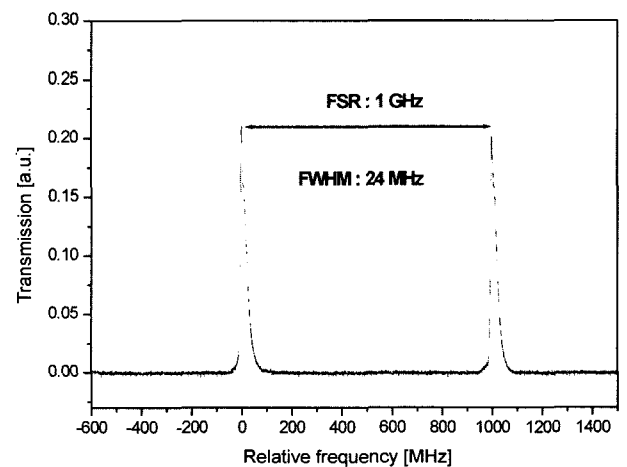


그림 4. FFP-TF2(FSR: 8.612 THz BW: 12.86 GHz)를 삽입하고 측정한 광섬유 링 레이저의 선폭.

뎀(mode hopping)이 관측되었다. 현재 레이저 모드 안정화에 대한 추가 연구가 진행되고 있다.

4.2. 광섬유 링 레이저를 이용한 아세틸렌(¹³C₂H₂) 분광

아세틸렌(¹³C₂H₂) 분자의 흡수분광을 위해 50:50 광 분할기를 이용하여 광섬유 레이저의 파장을 그림 1에서처럼 OSA로 모니터링하고 광섬유 레이저 빔을 아세틸렌 가스 셀에 투과시켜 오실로스코프로 흡수 스펙트럼을 관찰하였다. 실험에 사용한 아세틸렌 가스 셀은 직접 제작하였고 상온에서 120 Torr의 압력을 갖는다. 아세틸렌 셀의 길이는 5 cm이고 셀의 직경은 10 mm이며, 셀의 윈도우는 무반사 코팅되어 있다. 아세틸렌 분자의 흡수선 들은 표 3에서와 같이 광통신 밴드의 C-밴드 영역인 1520-1550 nm에 주로 분포한다.¹¹ 그렇기 때문에 아세틸렌 분자의 전 흡수영역을 분광하기 위해, 광섬유 링 레이저에서 Pump LD1만 동작시키고 FFP-TF2 필터(FSR: 8.612 THz)를 스캔하여 흡수신호를 얻을 수 있었다. 이 때 Pump LD1의 펄핑 파워는 40 mW였고 광섬유 링 레이저의 출력은 1 mW 였다. 그림 5는 광섬유 레이저 빔을 아세틸렌 가스 셀에 투과하여 얻은 흡수 스펙트럼이다. 광섬유 링 레이저의 FFP 필터의 온도 안정화를 위해 TEC(thermo-electric cooler)의 온도를 25°C로 맞추고 레이저의 공진 주파수를 변화시키기 위하여 PZT에 0-400 mV의 전압을 200 mHz로 주사하였고, 52개의 흡수선들을 확인할 수 있었다. 특히 그림에서 얻어진 스펙트럼은 EE-LED나 반도체 레이저를 이용해서 얻은 스펙트럼과 비교할 때 5 dB 이상 높은 신호대 잡음비를 갖고 있음을 알

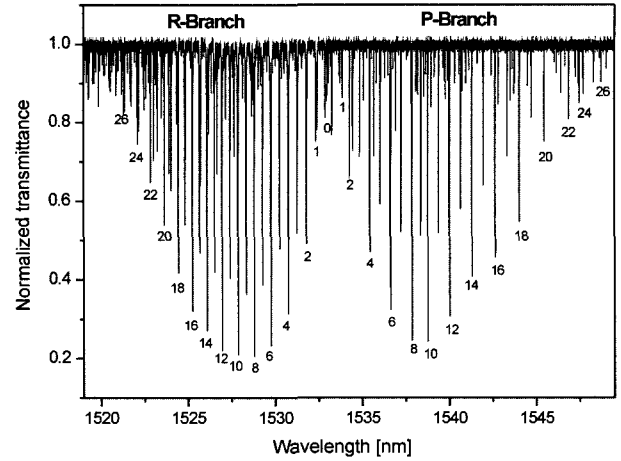


그림 5. 광섬유 링 레이저를 파장가변하면서 측정된 52개의 아세틸렌의 흡수 스펙트럼.

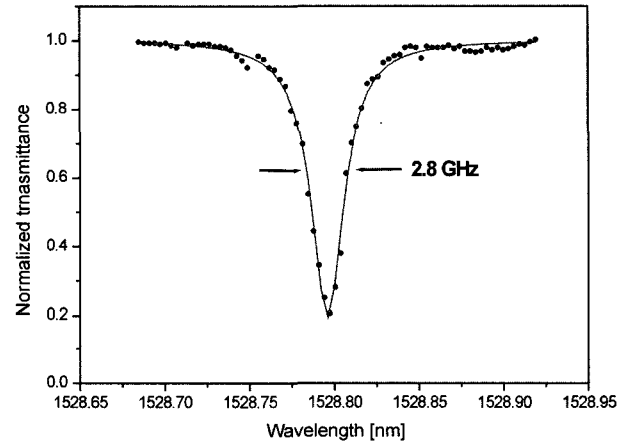


그림 6. 아세틸렌(¹³C₂H₂)의 R8에 해당하는 흡수 스펙트럼(로렌츠 피팅하여 측정된 선폭은 2.8 GHz, 흡수율은 80%).

표 3. 아세틸렌(¹³C₂H₂) 분자의 진공파장

R Branch	Wavelength (nm)	P Branch	Wavelength (nm)
25	1521.5704	1	1533.8180
24	1521.9492	2	1534.3499
23	1522.3320	3	1534.8872
22	1522.7226	4	1535.4298
21	1523.1191	5	1535.9779
20	1523.5213	6	1536.5316
19	1523.9293	7	1537.0909
18	1524.3431	8	1537.6559
17	1524.7626	9	1538.2267
16	1525.1880	10	1538.8032
15	1525.6190	11	1539.3855
14	1526.0558	12	1539.9735
13	1526.4984	13	1540.5674
12	1526.9467	14	1541.1670
11	1527.4007	15	1541.7724
10	1527.8604	16	1542.3837
9	1528.3259	17	1543.0008
8	1528.7972	18	1543.6237
7	1529.2740	19	1544.2525
6	1529.7566	20	1544.8872
5	1530.2449	21	1545.5278
4	1530.7389	22	1546.1742
3	1531.2385	23	1546.8266
2	1531.7436	24	1547.4849
1	1532.2541	25	1548.1491
0	1532.7701	26	1548.8193

수 있었다.

그림 6에 보이는 흡수 스펙트럼은 R8에 해당하는 흡수선으로 흡수 정도가 약 80%이다. Lorentz 곡선 맞춤결과 흡수선의 선폭은 약 2.8 GHz 정도로 측정되었고, 도플러 선폭확대(500 MHz)보다 약 5.6배 정도 큰 선폭을 가짐을 알 수 있다. 이렇게 선폭이 증가한 이유는 셀 내부에 분자의 압력이 높기 때문에 분자들 사이에 충돌에 의한 선폭확대(collison broadening)가 가장 주요한 원인이다.

V. 결론 및 토의

본 연구에서는 주 공진기 내에 추가적인 공진기를 형성하여 C-밴드 및 L-밴드 파장을 선택할 수 있는 새로운 구조의 광섬유 링 레이저를 제작하였다. 광섬유 링 공진기 내에서 각기 다른 길이의 이득매질을 통해 증폭된 파장들은 공진기 내부에 FFP-TF(Fiber Fabry-Perot Tunable Filter)에 의해 C-밴드 및 L-밴드에 걸쳐 약 102 nm(1510.4-1612.6 nm)의 범위에서 파장을 연속 가변할 수 있었다.

광섬유 링 레이저는 단일모드로 동작하였지만 모드 뎀(mode

hopping)이 관측되었고 레이저의 모드안정화를 위한 추가적인 연구는 진행되고 있다. 제작한 광섬유 레이저를 이용하여 C-밴드 영역에 분포하는 아세틸렌 분자의 52개의 흡수전이선의 스펙트럼을 측정하였다. 기존의 EE-LED, white light 또는 ASE와 같은 1500 nm 영역의 broadband 광원을 사용하여 아세틸렌 분자의 흡수 스펙트럼을 측정하는 경우, 넓은 선폭과 낮은 출력 때문에 흡수율이 낮고 분해능이 좋지 못하다. 하지만 본 실험에서 제작된 파장가변 광섬유 링 레이저는 좁은 선폭과 broadband 광원보다 높은 출력으로 분자의 흡수선에 대해 고분해 분광을 할 수 있었다.

앞으로 광섬유 링 레이저의 파장을 아세틸렌 분자의 특정 흡수선에 안정화한다면 광통신용 광원으로서 활용 가능성을 가지고 있다.

참고문헌

- [1] Y. Sun, J. W. Sulhoff, A. K. Srivasta, J. L. Zyskind, T. A. Strasser, J. R. Pedrazzani, C. Wolf, J. Zhou, J. B. Judkins, R. P. Espindola, and A. M. Vengsarkar, "80 nm ultra-wide-band erbium-doped silica fiber amplifier," *Electron. Lett.*, vol. 33, pp. 1965-1967, 1997.
- [2] S. Yamashita and M. Nishihara, "Widely tunable erbium-doped fiber ring laser covering both C-band and L-band," *IEEE J. Sel. Top. Quantum. Electronics.*, vol. 7, pp. 41-43, 2001.
- [3] International Telecommunication Union, Telecommunication Standardization Sector of ITU draft Supplement, Sup. dsn, to be approved in 2003.
- [4] A. Bellemare, M. Karasek, C. Riviere, F. Babin, G. He, V. Roy, and G. W. Schinn, "A broadly tunable erbium-doped fiber ring laser: experimentation and modeling," *IEEE J. Sel. Top. Quantum. Electronics.*, vol. 7, pp. 22-29, 2001.
- [5] V. Mizrahi, D. J. DiGiovanni, R. M. Atkins, S. G. Grubb, Y.-K. Park, and J. M. P. Delavaux, "Stable single-mode erbium fiber grating laser for digital communication," *J. Lightwave Technol.*, vol. 11, pp. 2021-2025, 1993.
- [6] G. A. Ball, C. E. Holton, G. Hull-Allen, and W. W. Morey, "60 mW 1.5 μ m single-frequency low-noise fiber laser MOPA," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 6, pp. 192-194, 1994.
- [7] S. L. Gilbert, "Frequency stabilization of a tunable erbium doped fiber laser," *Opt. Lett.*, vol. 16, pp. 150-152, 1991.
- [8] T. Haber, K. Hsu, C. Miller, and Y. Bao, "Tunable erbium-doped fiber ring laser precisely locked to the 50-GHz ITU frequency grid," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 12, pp. 1456-1458, 2000.
- [9] C. Gamache, M. Tetu, C. Latrasse, N. Cyr, M. A. Duguay, and B. Villeneuve, "An optical frequency scale in exact multiples of 100GHz for standardization of multifrequency communications," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 8, pp. 290-292, 1996.
- [10] P. Laporta, S. Taccheo, and S. Longhi, "Frequency locking of tunable Er:Yb microlasers to absorption lines of $^{13}\text{C}_2\text{H}_2$ in the 1540-1550 nm wavelength interval," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 71, pp. 2731-2733, 1997.
- [11] H. Ryu, H. Moon, W. Lee, H. Suh and D. Lee, "A discretely tunable erbium-doped fiber ring laser with 273 Ch. \times 50 GHz-spacing ITU-T grids in C- & L-band regions," in Optical Fiber Communication Conference '03, Optical Society of America, Atlanta, USA, 2003, pp. 24-25.
- [12] N. Park, J. W. Dawson, K. J. Vahala, "All fiber, low threshold, widely tunable single-frequency, erbium-doped fiber ring laser with a tandem fiber Fabry-Perot filter," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 59, pp. 2369-2371, 1991.
- [13] J. Zhang, C.-Y. Yue, G. W. L. Clements, and J. W. Y. Lit, "Stable single-mode compound-ring erbium-doped fiber laser," *J. Lightwave Technol.*, vol. 14, pp. 104-109, 1996.
- [14] H. H. Lee, J. M. Oh, B. J. Kim, and D. Lee, "Investigation of amplifying mechanism in an L-band erbium-doped fiber amplifier pumped by a 980nm pump," *J. Opt. Soc. Korea.*, vol. 7, pp. 67-71, 2003.
- [15] J. M. Oh, H. B. Choi, D. Lee, and S. J. Ahn, "Incorporation of a fiber Bragg grating to improve the efficiency of a 1580nm band tunable fiber ring laser," *Opt. Lett.*, vol. 27, pp. 589-591, 2002.
- [16] K. Nakagawa, M. de Labacherie, Y. Awaji, and M. Kourogi, "Accurate optical frequency atlas of the 1.5- μ m bands of acetylene," *J. Opt. Soc. Am. B.*, vol. 13, pp. 2708-2714, 1996.

Spectroscopy of acetylene ($^{13}\text{C}_2\text{H}_2$) using a tunable erbium-doped fiber ring laser

H. Y. Ryu[†], J. M. Oh, and D. Lee

Department of Physics, Chungnam National University, Daejeon 305-764, KOREA

[†]*E-mail: hyryu@kriss.re.kr*

H. S. Moon, W. K. Lee, K. D. Park, and H. S. Suh

Korea Research Institute of the Standards and Science, Daejeon 305-600, KOREA

(Received August 1, 2003, Revised manuscript October 20, 2003)

We fabricated erbium-doped fiber ring laser with a new structure that can operate in C- & L-band wavelength region. The wavelength of the laser can be tuned continuously over 102 nm between 1510.4-1612.6 nm by insertion of the fiber Fabry-Perot tunable filter (FFP-TF) in the ring cavity. By use of the wavelength tunable characteristics of our fiber laser, we measured absorption spectra of more than fifty transition lines of the acetylene ($^{13}\text{C}_2\text{H}_2$) molecule with high signal to noise ratio (SNR).

OCIS Codes : 300.6390, 140.3500, 140.3510.