

반도체 광 증폭기가 삽입된 광섬유 루프 미러를 이용한 NRZ 데이터에 대한 새로운 파장 변환기 이혁재†

경남대학교, 정보통신공학부
☎ 631-701 경남 마산시 월영동 449번지

(2004년 11월 2일 받음, 2005년 1월 18일 수정본 받음)

본 논문에서는 반도체 광 증폭기가 삽입된 광섬유 루프 미러를 이용한 NRZ(NonReturn to Zero) 데이터에 대한 새로운 파장 변환기를 제안하고 실험적으로 검증한다. 기존의 비선형 광섬유 루프 미러는 RZ-to-RZ, NRZ-to-RZ, 그리고 RZ-to-NRZ 데이터 형태 변환이 가능한데 반해, 아직까지 NRZ-to-NRZ 변환에 대해 제안된 바 없다. 본 논문에서는 1300 nm 대역 반도체 광 증폭기의 편광 의존 이득 특성과 광섬유 루프 미러를 이용하여 1.5 Gbps 속도를 갖는 1300 nm 대역의 NRZ 데이터 신호를 1550 nm 대역의 NRZ 데이터 신호로 바꾸어 주는 NRZ-to-NRZ 파장 변환 실험을 성공적으로 수행하였다.

주제어 : fiber loop mirror, semiconductor optical amplifier, nonlinear loop mirror, data format converter.

I. 서 론

WDM(Wavelength Division Multiplexing) 기법을 이용하여 테라 비트 광 전송이 성공한 이후, 광통신의 전송 용량의 증대는 더 이상 큰 이슈가 되고 있지 못하고 있다. 대신, 광 메모리, 광 로직, 광 헤더 처리, 광 파장 변환 등의 광 신호 처리 문제가 더욱 관심 거리가 되어, 최근 많은 연구자들이 집중적인 연구를 수행 중에 있다.

광섬유 루프 미러는 참고문헌^[1]에서 이론적으로 잘 분석되어있는데, Sagnac 간섭계의 구조를 갖고 있으며, 두 갈래로 갈라진 빛이 루프의 특성상 이상적으로 똑 같은 경로를 진행한 다음, 다시 결합 되기 때문에 입사된 빛이 모두 반사되는 특성을 갖는다. 그러나, 갈라진 두 개의 빛 중에 어느 한쪽에 위상 혹은 이득 변화를 주면, 입사된 빛의 일부가 반사하지 못하고 다른 쪽 단자로 투과하는 특성을 갖는다. 기존에 제안된 방법으로 광섬유의 루프 미러의 루프 내에 DSF(Dispersion Shifted Fiber)를 두고, 외부 조절 빔에 의해 DSF의 비선형성에 의한 위상 변화를 유도하여 광스위칭^[2] 기능을 구현한 바 있다. 이 방법을 이용하여 파장변환기^[3], 데이터 형태 변환기^[4,5] 등 여러 가지 광 신호 처리기가 제안된 바 있다. 동시에, 광 섬유 루프 미러 안에 위치한 DSF 대신에 반도체 광 증폭기를 위치시킨 방법도 제안되었다.^[6,7] 이 방법은 비선형성이 강한 반도체 광 증폭기를 사용하기 때문에 외부 조절 빔의 세기, 즉 스위칭 광 전력이 상기의 방법보다 적게 드는 장점이 있다. 그러나, 반도체 광 증폭기의 큰 이득 회복 시간 때문에 동작 속도에 제한이 생기게 되는 단점이 발생한다. 그럼에도 불구하고, 10 Gbps 정도의 광신호를 처리하는 데는 문제가 없어 보이며, 별도의 추가적인 holding

beam을 입사시켜 반도체 광 증폭기의 이득 회복 시간을 줄여 주면, 40 Gbps 이상의 광신호 처리도 가능하고, 최근에 이득 회복 시간이 매우 짧은 반도체 광 증폭기가 제작되고 있어 수십 Gbps 신호를 다루는 데는 문제가 없어 보인다.

상술한 반도체 광 증폭기가 삽입된 광섬유 루프 미러 형태의 방법은 RZ-to-RZ^[6,7], NRZ-to-RZ^[8], 그리고 RZ-to-NRZ^[9] 데이터 형태 변환이 가능한데 반해, 입력되는 데이터 형태가 NRZ 일 때, 입력 데이터 형태 그대로 출력되는 NRZ-to-NRZ 변환은 아직까지 제안된 바 없다(DSF가 삽입된 비선형 루프 미러는 가능하나, 매우 큰 스위칭 전력이 필요함). 그 이유는 루프 미러 형태의 특성에서 기인한다. 두 개의 빔으로 갈라진 빛이 독립 경로를 진행한 다음(Mach-Zehnder 간섭계), 다시 합쳐지는 것이 아니라, 동일 경로를 서로 다른 방향으로 진행한 다음(Sagnac 간섭계), 합쳐지기 때문에 외부 조절 빔은 동시에 그 두 빔에 영향을 줄 수 밖에 없다. 따라서, 입력과 출력 어느 한쪽의 데이터 형태는 RZ 형태를 가져야만 되었다.

본 논문에서는 반도체 광 증폭기가 삽입된 광섬유 루프 미러를 이용한 NRZ-to-NRZ에 대한 새로운 파장 변환기를 제안하고 실험적으로 검증한다. 1300 nm 대역 반도체 광 증폭기의 편광 의존 이득 특성과 광섬유 루프 미러를 이용하여 1 Gbps 속도를 갖는 1300 nm 대역의 NRZ 데이터 신호를 1550 nm 대역의 NRZ 데이터 신호로 바꾸어 주는 NRZ-to-NRZ 파장 변환을 수행한다.

II. 동작 원리

비선형 광섬유 루프 미러의 동작을 살펴보기 전에, 보통의 광섬유 루프 미러에 대한 동작을 살펴보기로 하자. 그 구조를 그림 1에 보였다. 3 dB 광 커플러의 출력 두 단자에 광섬

† E-mail: hyuek@kyungnam.ac.kr

유를 통해 상호 연결되어 있는 형태를 갖는다. 광 커플러의 단자 1을 통해 광 신호가 입사되면, 출력 단자 3, 4를 통해 입사된 광 신호가 절반씩 나누어져 시계 방향과 반시계 방향으로 각각 진행한다. 각자 진행한 신호는 다시 광 커플러에서 만나게 되고, 두 신호의 커플링이 상호 일어나게 된다. 이론적으로 엄밀히 설명하자면, 복잡한 수학적 과정을 거쳐야 할 것이지만^[1], 물리적 현상은 그림 2에서와 같이 두 개의 추와 상호 연결 스프링을 갖는 구조를 가지고 설명할 수 있다^[10]. 왼쪽의 추가 에너지 E1을 갖고 있으면, 그 에너지는 상호 연결 스프링의 커플링에 의해 점점 오른쪽의 추로 이동하

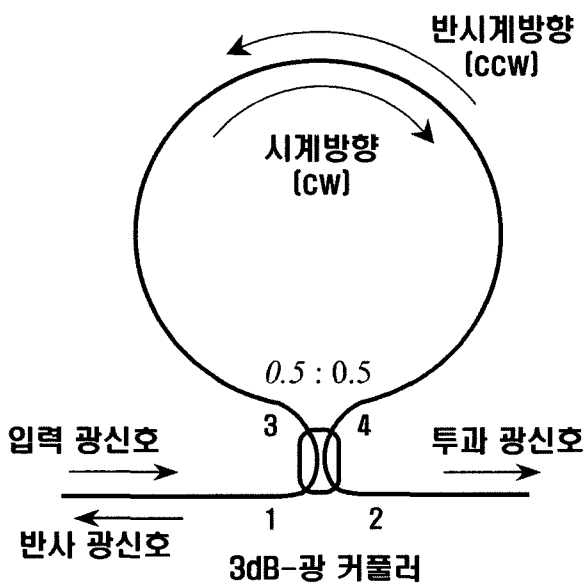


그림 1. 광섬유 루프 미러의 구조.

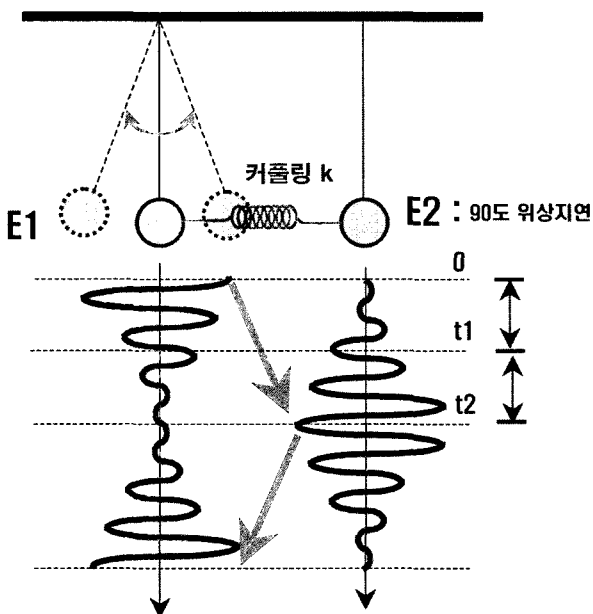


그림 2. 광 커플러 및 루프미러의 원리를 설명하기 위한 두 개의 추와 상호 결합 스프링을 갖는 구조^[10].

고, 모두 이동했으면, 다시 왼쪽 이동하는 동작을 반복한다. 3dB 커플러라는 것은 그림 2에서 시간 t1 만큼 커플링이 된 상태를 의미한다. 그림에서 알 수 있는 것과 같이 에너지를 전달 받은 쪽의 추는 위상이 90도 뒤져있는 것을 쉽게 알 수 있을 것이다. 광섬유 루프 미러에서 생각해 보면, 3 dB 광 커플러의 단자 3과 4로 출력된 두 신호는 똑 같은 세기 광 전력을 갖고 있지만, 단자 4로 출력된 신호는 단자 3으로 출력된 신호보다 상대적으로 90도 위상이 뒤져 있다. 출력된 두 신호는 완벽하게 길이가 똑 같은 루프를 따라 진행하기 때문에, 다시 3 dB 광 커플러로 입사하는 시점에서 여전히 90도 위상 차이가 나 있는 상태이다. 단지, 위치가 단자 4로 나온 신호는 단자 3으로, 단자 3에서의 신호는 단자 4로 입사된다. 즉, 위치가 바뀌어 있을 뿐이다(상호 진행해서 다시 커플러로 돌아 왔기 때문). 다시, 3 dB 커플러를 통과한다는 것은 그림 2의 t2 (2xt1) 시간에서 왼쪽 추의 에너지가 오른쪽 추로 모두 이동하는 것으로 볼 수 있다. 따라서, 광 신호가 루프를 도는 것에 의해 그림 2의 시간 t1 지점에서 좌우가 바뀌었다고 생각하면, 모든 광 신호는 이상적으로는 입사된 쪽으로 모두 튀어나온다고 할 수 있다. 즉, 광 거울(미러)과 같이 동작한다. 그러나, 여기서 중요한 사실 하나는 광섬유 루프를 진행하는 두 광 신호 중 어느 한쪽 신호의 위상이 180도 변하면, 더 이상 광섬유 루프 미러처럼 동작하지 않고, 1번 단자로 입사한 신호는 모두 2번 단자로 출력되게 된다. 따라서, 광섬유 루프 미러를 가지고, 완전 광 스위칭, 파장 변환기, 데이터 형태 변환기 등을 만들기 위해서는 광섬유 루프를 따라 도는 두 광 신호 중 어느 한쪽 신호의 위상을 어떤 수단에 의해 변화 시켜 주어야 한다. 이것이 비선형 광섬유 루프미러의 기본 동작 원리이다. 그러면, 어떤 방법 혹은 어떤 광소자를 가지고 광 신호의 위상을 바꾸어 줄 수 있는냐가 관건이 된다. 크게 나누어, 루프 미러 안에 DSF(Dispersion Shifted Fiber) 광섬유 다발을 이용하는 경우와 반도체 광 증폭기를 이용하는 경우로 크게 나누어진다. 전자의 경우는 DSF의 비선형성을 이용하는데, 고속 동작(수백 Gbps 스위칭 속도)이 가능한 장점이 있으나, 수 km의 광섬유 다발을 이용하기 때문에 전체 크기가 매우 커지고, 광 신호의 위상을 바꾸어 주기 위한 콘트롤 광 신호의 광 전력 세기가 매우 커야 되는 단점을 갖고 있다. 반면에, 반도체 광 증폭기를 이용하는 경우는 작은 콘트롤 광 신호 세기, 컴팩트한 제조, 비교적 작은 삽입손실 등의 장점이 있는 반면, 반도체 광 증폭기의 이득 회복 시간 때문에 초고속 동작이 어려운 단점이 있다. 그러나, 최근 반도체 광 증폭기의 제조 기술이 나날이 발전하는 것에 힘입어 40 Gbps 이상의 속도에서도 동작한다. DSF를 이용한 방법과 대적하려면 적어도 100 Gbps 속도 이상에서 동작해야 하며, 최근 추세로 보면 조만간 가능하리라 예상된다.

반도체 광 증폭기가 삽입된 광섬유 루프 미러 형태의 광 스위칭 장치로 SLALOM(Semiconductor optical amplifier inside the loop)^[6]과 TOAD(Terahertz optical asymmetric demultiplexer)^[7]가 제안된 바 있다. SLALOM이 먼저 제안되었는데,

두 장치는 원칙적으로 같으며, 단지 바라보는 시각을 약간 다르게 분석했을 뿐이다. 출력되는 신호는 콘트롤 신호와 파장이 다르기 때문에 기본적으로 파장 변환이 되고, 데이터 형태 변환이 이루어진다. RZ-to-RZ 변환은 광 스위칭으로^{6,7)} 사용되고, 그 외에 NRZ-to-RZ⁸⁾, RZ-to-NRZ⁹⁾ 데이터 형태 변환기들이 제안된 바 있다. 그러나, 아직까지 NRZ-to-NRZ 형태의 변환은 제안된 바 없는데, 그 근본적인 이유는 광섬유 루프 미러의 구조적 문제에 있다. 즉, 광섬유 루프 미러는 Sagnac 간섭계 형태로 이루어져 있기 때문에 두 개로 갈라진 광 신호는 완벽하게 똑 같은 광 경로를(서로 반대 방향으로) 진행하기 때문에 독립적으로 각 신호에 어떤 위상 혹은 진폭 변화를 주기가 매우 어렵다. 이와 반대로 Mach-Zehnder 간섭계 형태는 독립적인 광 경로를 갖기 때문에 위에 언급한 어떤 형태의 데이터 변환이던 구현할 수 있는 장점을 갖는다. 그러나, 두 광 경로는 외부 환경에 따라 길이가 미세하게 변할 가능성이 있고, 그것에 따라 진행되는 광 신호의 위상이 변하기 때문에 안정성 측면에서 단점이 발생된다. 따라서, 이를 위한 별도의 제어 장치가 필요하게 된다.

그림 3(a)에 반도체 광 증폭기가 삽입된 광섬유 루프 미러의 구조를 보였다. 반도체 광 증폭기는 루프 미러의 중심에서 약간 비대칭 지점에 놓이게 되어 시계 방향(cw)과 반시계 방향(ccw)의 빔이 반도체 광 증폭기에 도착하는 시간이 각각 다르게 된다. 서로 다르게 도착하는 시간 사이에 콘트롤 광 신호가 위치하여 반도체 광 증폭기의 게인을 변화시켜 주고, 그것에 의해 두 빔 중 한쪽 빔에 위상과 진폭 변화가(그림 3(b)) 발생 된다. 이때, 입력 광 신호는 반도체 광 증폭기에 큰 영향을 주지 않을 정도의 광 전력을 넣어 주는 반면, 콘트롤 광 신호는 큰 영향을 줄 수 있어야 된다.

그림 3(a)에서 입력은 $I_{in}(t)$ 이고, 출력은 $I_{out}(t)$ 으로 나타내자. 반도체 광 증폭기는 광섬유 미러의 중심으로부터 $\Delta x/2$ ($= T_{offset} \cdot c \cdot n_{eff}/2$) 거리만큼 좌측에 놓여 있다. 첨자에서 cw는 시계 방향을 나타내고, ccw는 반시계 방향을 의미한다. 따라서, 출력에서의 광 신호를 수식적으로 나타내면 다음과 같다.¹⁶⁾

$$I_{out}(t) = I_{in}(t) \left(a^2 G_{cw}(t) + (1-a)^2 G_{ccw}(t) - 2a(1-a) \sqrt{G_{cw}(t) \cdot G_{ccw}(t)} \cos \theta_{diff}(t) \right) \quad (1)$$

여기서, a 는 TDC(Tunable Directional Coupler)의 커플링 비를 나타내고, $G_{cw}(t)$ 와 $G_{ccw}(t)$ 는 시계 방향과 반시계 방향의 광 신호에 대한 반도체 광 증폭기의 시간에 따른 이득을 나타낸다. 그리고, $\theta_{diff}(t) = \theta_{cw}(t) - \theta_{ccw}(t)$ 는 시계 방향 과 반시계 방향 빔 사이의 위상 차이를 의미한다. 식 (1)에서 TDC의 커플링 비를 0.5로 하고, 시계 방향과 반시계 방향 이득을 같다고 한다면, 즉, 루프 미러를 도는 두 광신호의 위상 차이만을 고려한다면, 다음과 같이 나타내 진다.

$$I_{out}(t) = \frac{1}{2} I_{in}(t) (1 - \cos \theta_{diff}(t)) \quad (2)$$

식 (2)를 만들기 위한 가정, $a=0.5$, $G_{cw}=G_{ccw}$ 은 현실적으로 맞지 않지만, 이렇게 생각할 수 있다. 그림 3(b)에서 알 수 있듯이, 시계 방향(cw) 펄스가 반시계 방향(ccw) 펄스 보다 앞에 있고, 그 두 펄스 사이의 콘트롤 광 신호에 의해 뒤따라 오는 반시계 방향 펄스의 이득이 작게 된다. 따라서, TDC에 의해 갈라진 광 펄스는 서로 다른 이득을 받고, 다시 TDC에서 합쳐지게 되는데, 서로 다른 크기를 갖는 광 펄스는 TDC의 커플링 비에 의해 전체적으로 조절될 수 있다. 즉, 반도체 광 증폭기에 의해 진폭과 위상이 변하는데, 진폭의 변화는 TDC에 의해 그 커플링 비를 잘 조절하는 것에 의해 상쇄시킬 수 있다는 것을 의미한다. 식 (2)로 부터 알 수 있듯이, $\theta_{diff} = 0$ 이면, $I_{out} = 0$ 이 되고, $\theta_{diff} = \pi$ 이면, $I_{out} = I_{in}$ 이 된다. 즉, 어떤 방법에 의해서 단지 루프 미러를 진행하는 두 펄스의 상대적 위상 차이가 π 나게 되면, 스위칭 되어 입력 광 펄스가 모두 출력 단으로 전달 된다.

지금부터는 본 논문에서 제안하는 NRZ-to-NRZ 파장 변환

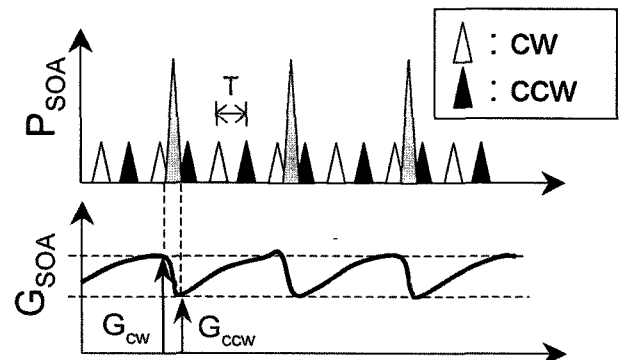
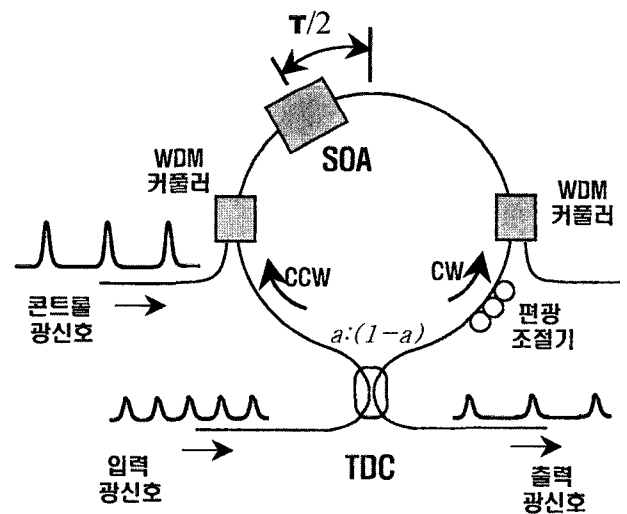


그림 3. 반도체 광 증폭기가 삽입된 광섬유 루프 미러의 구조.

기의 원리를 설명하고자 한다. 상술한 바와 같이, 광섬유 루프 미러를 이용한 방법은 RZ-to-RZ 파장 변환기가 기본이 되고, 그 후에 NRZ-to-RZ, RZ-to-NRZ 변환기가 제안 되었다. 항상 RZ 형태의 데이터가 필요한데, 그것은 광섬유 루프 미러의 동작상 시계 방향과 반시계 방향으로 신호가 나누어 지고, 각 신호가 독립적으로 다루어 져야 함으로(시간 축에서 신호가 분리 되어) RZ 데이터 형태가 필요하다. 그러면, 어떻게 NRZ 데이터 형태를 NRZ 데이터 형태로 데이터 포맷 변환 없이 파장만 바꿀 수 있을까? 그 해답은 반도체 광 증폭기의 편광 의존성을 이용하는 것이다. 그림 4와 같이, 편광 의존성이 있는 반도체 광 증폭기를 광섬유 루프 미러의 증점에 위치시킨다. TDC의 1번 입력 단자로 들어 오는 CW 신호는 TDC의 커플링 비 대로 광 전력이 나누어져 TDC의 3번과 4번 단자로 전달된다. TDC의 4번 단자를 지나는 광 신호는 90도 편광이 바뀌도록 waveplate 혹은 편광 조절기가 연결되어 있고, TDC 3번 단자로 나가는 광 신호와 편광 수직으로 반도체 광 증폭기를 통과하도록 되어 진다. 이때, 콘트롤 광 신호는 루프 미러 왼쪽에 연결된 WDM 광 커플러를 통해 루프 안 쪽으로 삽입된다. 콘트롤 광 신호의 편광은 시계 방향으로 도는 CW 신호의 편광과 똑같이 만들고, 그 편광에서 반도체 광 증폭기는 최대 이득을 갖는다. 여기서, 콘트롤 광 신호로부터 시계 방향, 반시계 방향 신호 모두 동시에 영향을 받지만, 반도체 광 증폭기가 편광 종속이기 때문에 받는 영향이 서로 다르게 된다. 원리를 요약하면 다음과 같다. RZ 데이터를 다루는 경우에는 시계 방향과 반시계 방향으로 반도체 광 증폭기에 도착하는 광 펄스의 시간을 차이 나게 한 다음, 두 펄스 중 한 펄스에 이득과 위상을 차이 나게 만들어 스위칭 하도록 하는 방법이다. 반면에, 본 논문에서 제안하는 NRZ 데이터 변환의 경우에는 시계 방향과 반시계 방향 신호의 편광을 수직으로 만들어 반도체 광 증폭기의 편광 의존성에 의한 이득과 위상 차이를 이용한다는 점에서 다르다. 따라서, 전자의 방법은 시간축 상에서 시계 와 반시계 방향 신호를 구분하여 어떤 영향을 주는 방법이고, 후자는 편광축 상에서 시계 와 반시계 방향 신호를 나누는

방법이다. 따라서, 제안된 방법은 데이터의 형태와 무관하게 된다.

III. 실험 결과

본 논문에서 제안하는 방법을 실험적으로 검증하기 위해 그림 5(a)와 같은 실험 장치를 이용했다. 실험에 사용된 반도체 광 증폭기는 E-TEK에서 1990년도 초반에 생산되었던 모델명 LDOA-1300 이라는 1300 nm 대역의 광 증폭기(1330 nm-SOA1, 2)를 사용했다. 이득 편광 의존성은 ~7.5 dB 정도였고, 최대 이득은 ~11 dB(@80mA) 정도를 보여주었다. 지금의 반도체 광 증폭기와 비교해 보면, 성능이 매우 안 좋지만, 그 당시엔 매우 구하기 어려웠던 광 소자 중의 하나였다. 오히려, 본 논문의 실험을 위해서는 편광 의존성이 큰 증폭기가 필요하므로 아주 적합하다 할 수 있겠다. 또한, 1300 nm 대역의 광원 부족으로 할 수 없이, 그림 5(a)의 실험 장치에서와 같이 NRZ 입력 광 신호는 1300 nm 대역 광원(1300 nm-LD)을 쓰고, 광섬유 루프 미러에 가해지는 probe CW 광 신호는 1550 nm 대역의 광원(1550 nm-TLD)을 사용했다. 이러한 구조는 참고문헌^[11]에서 제안된 바 있다. 1300 nm 대역의 외부 콘트롤 신호 광원은 1300 nm-광증폭기에 영향을 주게 되는데, 그 영향에 루프 미러 내부를 도는 1550 nm 대역의 광 신호는 단지 위상 변화만 겪게 된다(그림 5(b)). 즉, 1550 nm대의 광 신호는 1300 nm 반도체 광 증폭기의 증폭 대역이 아니므로 진폭의 영향은 없고, 대신 증폭기 내의 유효 굴절률 변화에 의해 위상 변화만 겪게 된다. 그러나, 보통 같은 파장 대역에서 상기의 두 광 신호를 사용하면 진폭과 위상이 동시 영향 받게 되고, 특히, 진폭변화는 뒤 따라오는 데이터 비트들에 악 영향을 미쳐 optical ADD/DROP 노드의 형태를 구성하기 힘들게 만든다. 뿐만 아니라, 파장 변환되어 출력되는 광 신호는 광 증폭기의 파장에 따른 이득 변화와 대역에 제한을 받게 되는 단점을 갖는다. 따라서, 단지 위상 변화만 유도할 수 있는 방법이 훨씬 문제를 간단하게 만들고, 파장 변환 신호의 대역폭을 넓게 할 수 있는 큰

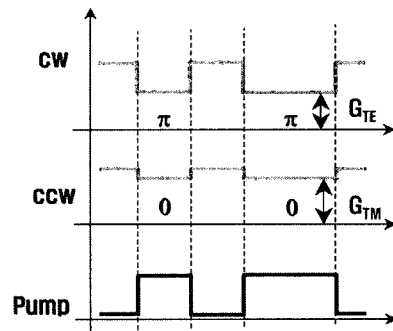
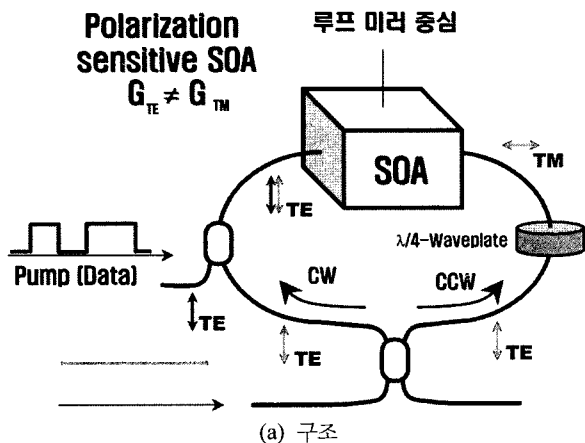


그림 4. 본 논문에서 제안하는 반도체 광증폭기 광섬유 루프 미러의 구조

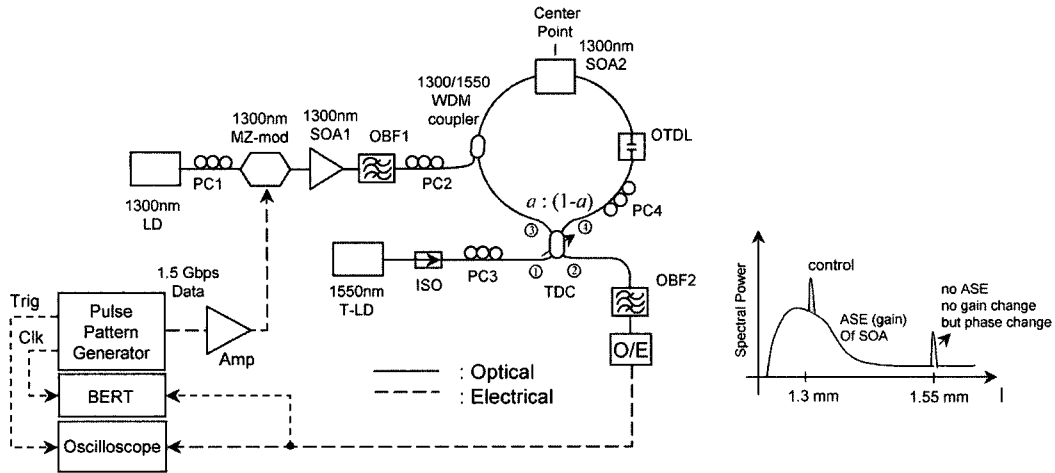


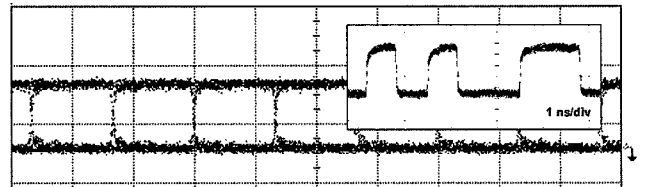
그림 5. 실험 구조

LD : Laser Diode, MZ : Mach-Zehnder, SOA : Semiconductor Optical Amplifier, OBF : Optical Bandpass Filter, OTDL : Optical Tunable Delay Line, PC : Polarization Controller, T-LD : Tunable Laser Diode, TDC : Tunable Directional Coupler, BERT : Bit Error Rate Tester, ISO : Optical Isolator.

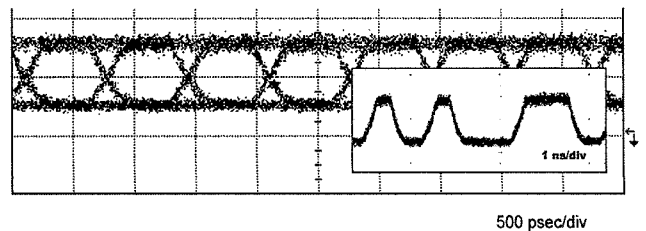
장점이 된다.

그림 5(a)에서, 입력 NRZ 데이터는 1300 nm 대역 광원 LD (1324.3 nm), 편광 조절기 PC1, 외부 광 변조기 MZ-Mod 를 통해 1.5 Gbps $2^{31}-1$ PRBS 신호가 만들어 진다. 이 입력 신호는 편광조절기 PC2와 1300/1550 WDM 커플러를 통해 루프 미러 안쪽으로 삽입된다. 반면에, 1550 nm 대역의 가변 파장 광원 T-LD(1545.5 nm)는 CW 빔을 발생시켜, 광아이슬레이터 ISO와 편광 조절기 PC3를 지나 광 섬유 루프 미러의 TDC 1번 단자 쪽으로 전달된다. PC3는 1550 nm CW 빔의 편광을 반도체 광 증폭기(최대 이득을 갖는 축을 TE, 최소 이득은 TM)의 TE 축에 맞추는 역할을 한다. TDC를 통해, 비율로 광 전력이 나누어지고, 반시계 방향 빔은 PC4와 가변 광 지연기 OTDL을 거쳐 반도체 광 증폭기로 전달되는데, 여기서 PC4에 의해 빔의 편광이 TM 방향으로 바뀌게 된다. 따라서, 그림 4에서와 같이 반도체 증폭기의 왼쪽은 TE 빔이, 오른쪽은 TM 빔이 입사하며, 동시에 PC2에 의해 TE 축에 편광이 맞추어진 1300 nm-NRZ 입력 광 신호가 왼쪽으로 들어간다. 여기서, ≈ 0.45 정도였고, T-LD로부터 발생된 1550 nm-CW빔의 광 전력은 5.0 dBm였다. 1.5 Gbps 속도로 광 변조된 1300nm-광 신호는 광섬유 루프 미러로 입사되기 직전의 광신호의 전력은 -2.2 dBm 정도였다. 그림 6(a)는 1.5 Gbps $2^{31}-1$ PRBS 입력 신호에 대한 데이터를 보여주고, 그림 6 (b)는 본 논문에서 제안하는 방법에 의한 NRZ 데이터의 파장 변환된 결과를 보여준다. 그림 6(a), (b) 안에 삽입된 데이터는 각각에 대한 고정 패턴을 보였다. 결과에서 알 수 있듯이, 파장 변환된 데이터의 상승과 하강 에지가 상당히 부드러워졌음을 알 수 있는데, 상승 시간은 ~ 230 ps였고, 하강 시간은 ~ 245 ps 정도를 보였다. 즉, 하강 시간이 좀 더 소요됨을 알 수 있다. 이는 사용된 반도체 광 증폭기의 이득 회복시간에 의해 결정되며, E-TEK 사의 Data sheet 상에는

~ 1 nsec 정도로 표기되어 있는데, 사용된 반도체 광 증폭기의 종류와 인가한 전류에 따라 조금씩 달라진다. 입력 데이터의 속도가 2.0 Gbps가 넘어가면, 소광비가 급격히 나빠지므로 실험은 1.5 Gbps 속도에서 수행 하였다. 속도 제한 문제는 반도체 광 증폭기의 성능과 직접 관련이 있으며, 최근 만들어지는 광 증폭기의 경우, 이득 회복 시간이 ~ 100 ps 이하 증폭기도 만들어 지기 때문에 그와 같은 증폭기를 사용하면 10G bps \sim 100 Gbps 속도의 신호를 변환하는데 문제가 없을 것으로 예상된다. 그림 7은 입력 광 신호(\blacklozenge)와 변환된 광신호(\circ)의 BER을 보여주는 그래프이다. 변환된 신호의 BER이 높은 패널티를 보여주는 것은 변환된 신호의 소광비가 안 좋기 때문이다. 즉, 입력 신호의 소광비는 ~ 15 dB인 반면, 변환 신호의 소광비는 6.9 dB 정도였다. 소광비가 안 좋은 이유는 광 증폭기를 통해 변환되는 위상변화가 적다는



(a) 1.5 Gbps $2^{31}-1$ PRBS 입력 신호 데이터



(b) 제안된 방법에 의한 NRZ-to-NRZ 출력 데이터

그림 6. 실험 결과.

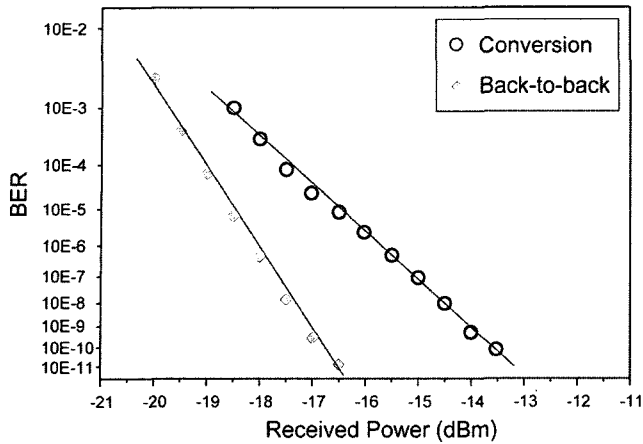


그림 7. BER 측정 결과.

것을 의미 하며, 이는 1300 nm-NRZ 광신호의 전력이 충분치 못했던 거로 생각된다. 1300 nm 대역 광원 LD의 광 출력을 높이는 데에 한계가 있었고, 광 변조된 신호를 증폭해야 되는데, 실험 당시 1300 nm 대역의 증폭기가 많지 않아 충분한 광 신호를 넣어 주지 못한 것에 이유가 있다. 물론, 참고문헌^[6]의 식 (23), $\theta_{diff} = -\frac{\alpha}{2} \ln(\frac{G_1}{G_2})$ 을 이용하면, 이득의 편광 의존성으로부터 대략적인 위상 차를 구할 수 있다. 사용된 반도체 광 증폭기로부터 이득 편광 의존성 (~7.5 dB)에 의해 대략 $\theta_{diff} = -1.1\pi$ 을 얻을 수 있음이 추정 가능하다(여기서, linewidth enhancement factor α 는 4.0이라 가정했음). 즉, 위상차 -1.1π 는 본 논문의 식 (2)로부터 알 수 있듯이 출력 신호를 완벽하게 on/off하기 충분하다는 것을 의미한다. 그러나, 사용된 1300 nm 대역의 신호가 광섬유 루프 미러 안으로 삽입될 때, 절반씩 나뉘지고, 연결된 각 광소자 및 커넥터로부터 손실된 광전력으로 인해 반도체 광 증폭기에 충분한 세기의 광신호가 가해지지 않아 얻어진 출력 신호의 소광비가 작은 것으로 추정된다.

IV. 결 론

본 논문에서는 반도체 광 증폭기가 삽입된 광섬유 루프 미러를 이용한 NRZ 데이터에 대한 새로운 파장 변환기를 제안하고, 그 원리를 실험적으로 검증했다. 아직까지 SOA-광섬유 루프 형태의 구조를 가지고 NRZ 데이터에서 NRZ 데이터로의 파장 변환을 제안한 바 없으며, 본 저자가 아는 범위 내에서 제안된 방법이 최초로 생각된다. 비록, 1.5G bps 라는 비교적 저속 데이터의 변환이지만, 개선된 성능의 반도체 광 증폭기를 사용한다면(짧은 이득 회복 시간을 갖는 증폭기 ~100 ps), 최소한 10 Gbps 속도의 데이터를 변환하는 데는 문제가 없을 것으로 예상된다.

감사의 글

본 연구는 2004 학년도 경남대학교 학술논문게재연구비 지원으로 이루어졌음을 밝힙니다.

참고문헌

- [1] D. B. Mortimore, "Fiber Loop Reflectors," *J. Lightwave Technol.*, vol. 6, no. 7, pp. 1217-1224, 1988.
- [2] B.P. Nelson, K.J. Blow, P.D. Constantine, N.J. Doran, J.K. Lucek, I.W. Marshall, and K. Smith, "All-optical Gbit/s switching using nonlinear optical loop mirror," *Electron. Lett.*, vol. 27, Issue 9, pp. 704-705, 1990.
- [3] K. Uchiyama, T. Morioka, and M. Saruwatari, "Polarisation-independent wavelength conversion using nonlinear optical loop mirror," *Electron. Lett.*, vol. 31, no. 21, pp. 1862-1863, 1995.
- [4] S. Bigo, E. Desurvire, and S. Gauchard, "Bit-rate enhancement through optical NRZ-to-RZ conversion and passive time-division multiplexing for soliton transmission systems," *Electron. Lett.*, vol. 30, no. 12, pp. 984-985, 1994.
- [5] S. Bigo, E. Desurvire, and B. Desruelle, "All-optical RZ-to-NRZ format conversion at 10 Gbit/s with nonlinear loop mirror," *Electron. Lett.*, vol. 30, no. 22, pp. 1868-1869, 1994.
- [6] M. Eiselt, W. Pieper, and H. G. Weber, "SLALOM: Semiconductor laser amplifier in a loop mirror," *J. Lightwave Technol.*, vol. 13, pp. 2099-2112, 1995.
- [7] J.P. Sokoloff, P.R. Prucnal, I. Glesk, and M. Kane, "A terahertz optical asymmetric demultiplexer (TOAD)," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 5, no. 7, pp. 787-790, 1993.
- [8] H.J. Lee and C. Park, "Novel all-optical edge detector for the clock component extraction of NRZ signal using an SOA-loop-mirror," *Opt. Comm.*, vol. 181 (4-6), pp. 323-326, 2000.
- [9] H.J. Lee, S.J.B. Yoo and C.S. Park, "Novel all-optical 10 Gbps RZ-to-NRZ conversion using SOA-loop mirror," *Technical Digest, Optical Fiber Communication Conference (OFC'01)*, Anaheim, California, paper MB7, 2001.
- [10] K. Iizuka, *Engineering Optics*, 2nd Ed., Springer-Verlag, New York, 1988.
- [11] S. Diez, R. Ludwig, and H. G. Weber, "Gain-Transparent SOA-Switch for High-Bitrate OTDM Add/Drop Multiplexing," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 11, no. 1, pp. 60-62, 1999.

New wavelength converter for optical NRZ data signal using SOA-loop-mirror

Hyuek Jae Lee[†]

Division of Information and Communication, Kyungnam University, 449 Wolyoung-dong, Masan, 631-701, Korea

[†]*E-mail: hyuek@kyungnam.ac.kr*

(Received November 2, 2004, Revised manuscript January 18, 2005)

In this paper, a new wavelength converter using an SOA(Semiconductor Optical Amplifier)-loop-mirror for NRZ(NonReturn to Zero) optical data has been proposed and experimentally demonstrated. Conventional nonlinear fiber-loop-mirror methods can perform RZ-to-RZ, NRZ-to-RZ, and RZ-to-NRZ data format conversion, but NRZ-to-NRZ conversion has not been demonstrated until now. The experiment for the conversion from a 1300 nm NRZ data signal at 1.5 Gbps to a 1550 nm NRZ data one is successfully performed using a fiber-loop-mirror with 1300 nm-SOA.

OCIS Codes : 060.2330, 060.7140, 230.1150.