

고속 광 이더넷에서 선로 부호에 따른 전송 성능에 대한 연구

종신회원 김창봉*, 정회원 고제수**, 김익상***

The Study of Transmission Performance of Line Code on High Speed Optical Transmission Ethernet

Chang-Bong Kim* A Lifelong Member, Je Soo Ko**, Ik-Sang Kim*** Regular Members

요약

본 논문은 고속 광 이더넷에서 최소 대역폭 특성을 지닌 선로 부호에 의한 전송 성능의 개선 가능성을 제시하고자 선로 부호의 파라미터들을 조사 분석하고 동일한 광 이더넷에서 최소 대역폭 특성이 있는 선로 부호(MB810)와 기존의 선로 부호(8B/10B)로 각각 부호화된 데이터를 전송하는 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 환경은 10기가비트 이더넷의 표준에 있는 Serial type LAN PHY 10GBASE-E 물리 계층을 사용한 단일 채널 전송 광 이더넷과 WDM type LAN PHY 10GBASE-LX4 물리 계층을 사용한 다중 채널 전송 광 이더넷으로 구현되었다. 또 MB810 선로부호의 최소 대역폭 특성을 확인하고 두 선로부호에 의한 전송 성능을 비교하기 위하여 수신 광 파워에 따른 비트 오류율(BER)을 비교하였다.

ABSTRACT

In this paper, we discuss parameters of line code and simulate a same optical ethernet having minimum bandwidth(MB810) and non-minimum bandwidth line code(8B/10B) to present the possibility of improving of transmission performance using minimum bandwidth line code on the high speed optical ethernet. We design the high speed optical ethernet using Serial type LAN PHY 10GBASE-E(WDM type LAN PHY 10GBASE-LX4) for the single(multi) channel link. To compare the transmission performance of MB810, 8B/10B line code we measure the bit error rate(BER) according to the received optical power of single and multi channel link.

I. 서론

인터넷 경제의 불황으로 인하여 그 성장세가 최근 둔화되기는 하였지만 지난 몇 년간 인터넷 트래픽의 규모는 10배 가까운 증가세를 보여 왔다 그리고 100Mbps급의 패스트 이더넷을 포함한 고속 LAN기술이 데스크탑 또는 서버 레벨까지 일반화되고 가까운 미래에 데스크탑까지 광선로가 포설되는 FTTD(Fiber To The Desk)가 예상됨에 따라 이들 트래픽을 수용할 수 있는 보다 더 고속의 LAN기술

이 필요하게 되었다. 이러한 필요성에 부응하여 기가비트 이더넷기술이 출현하였으며 현재 10기가비트 이더넷기술(10GbE)의 표준화가 마무리되었다. 10기가비트 이더넷 표준화 과정에서 가장 큰 이슈로 선로 부호를 꼽을 수 있다. 기존 1기가비트 이더넷의 표준인 8B/10B는 8비트를 10비트로 변환하는 부호로 전체 대역폭의 25%를 낭비하게 된다는 단점이 있다. 따라서 10기가비트 이더넷 표준화 과정에서 이에 대한 대안으로 여러 개의 선로 부호가 계속 논의되었다. 또한 10기가비트 이더넷을 고속

* 공주대학교 정보통신공학부(aggie@kongju.ac.kr) ** 한국전자통신연구원(jsko@etri.re.kr)

*** 배재대학교 정보통신공학부(iskim@mail.paichai.ac.kr)

논문번호 : KICS2005-01-048, 접수일자 : 2005년 1월 28일

광전송 링크로 본다면 광섬유 고유의 비선형성에 의해 링크의 전송 성능이 저하³⁾ 된다는 점도 고려해야 할 것이다. 그러나 여러 가지 실험적인 결과를 토대로 최소 대역폭(MB: Minimum Bandwidth) 특성을 지닌 선로 부호로 대역폭 절감뿐 아니라 고속 광전송 링크의 전송 성능이 개선될 수 있다고 평가된 바 있다.⁴⁾

본 논문에서는 위에 기술한 고속 광 이더넷의 문제점인 대역폭의 낭비 및 전송성능 저하를 개선하기 위한 방안으로 최소 대역폭 특성을 갖는 선로 부호를 사용하여 전송 성능의 개선 가능성을 제시하고자 한다. 이를 위해 선로 부호의 파라미터들을 조사 분석하고 동일한 광 이더넷에서 최소 대역폭 특성이 있는 선로 부호(MB810)⁵⁾와 기존의 선로 부호(8B/10B)⁶⁾를 적용하여 그 전송 성능을 비교하기 위한 전송 시뮬레이션을 수행하였다. 본 논문의 구성은 II장에서 선로 부호의 스펙트럼 특성을 이해하는데 필요한 선로 부호의 파라미터들을 알아본다. 또한 MB810 선로 부호의 최소 대역폭 특성을 확인하고 최소 대역폭 전송에 대해 기술한다. III장에서 표준화된 10기가비트 이더넷의 물리계층을 사용하는 단일 및 다중 채널 고속 광 이더넷으로 모델링한 전송 시뮬레이션의 셋업에 대해 개략적으로 설명한다. IV장에서 단일 및 다중 채널 고속 광 이더넷의 전송 시뮬레이션 결과로서 각각의 수신 광 파워에 따른 BER 결과를 분석한다. 마지막 V장에서 결론 및 향후 연구과제에 대해 언급한다.

II. 선로 부호의 파라미터 및 최소대역폭 특성

부호방식은 사용목적에 따라 크게 소스 부호와 선로 부호로 나뉜다. 소스 부호는 원래의 정보신호를 디지털 신호로 바꾸고 데이터를 압축하여 제한된 대역폭에서 높은 전송률로 전송되도록 정보신호를 보다 효율적으로 부호화하는데 목적이 있다. 선로 부호는 소스 부호화된 원래의 메시지에 에러 검출 및 정정을 위한 비트들을 추가하여 전송하고 수신 측에서 에러를 검사하여 데이터의 재 전송을 요청하거나 자체적으로 에러를 검출하여 정정하도록 하는데 목적이 있다.

MB810 선로 부호와 8B/10B 선로 부호는 8비트 입력과 10비트 출력은 동일하지만 선로 부호의 스펙트럼 특성을 파악할 수 있는 파라미터인 RDS, RAS, DSV, ASV는 모두 동일하지 않다.⁵⁾

RDS(Running Digital Sum)는 선로 부호가 매

주기(T)마다 심볼을 출력한다면 $t=nT$ 에서 출력 심볼을 Y_n 으로 놓고 $t=IT$ 와 $t=JT$ 사이의 부호화된 출력 심볼의 합으로 식(1)로 표현된다.

$$RDS = \sum_{n=I}^J Y_n \quad (1)$$

RAS(Running Alternate Sum)는 매 주기(T)마다 심볼을 출력한다면 $t=nT$ 에서 출력 심볼을 Y_n 으로 놓고 매 주기마다 (-1)이 번갈아 곱하여진 $t=IT$ 와 $t=JT$ 사이의 부호화된 출력 심볼의 합으로 식(2)로 표현된다.

$$RAS = \sum_{n=I}^J (-1)^n \times Y_n \quad (2)$$

DSV(Digital Sum Variation)는 직류 근처나 직류에서의 파워 측정으로 전체 부호화된 출력 심볼 흐름에서 RDS의 피크에서 피크까지의 변화를 의미하고 식(3)으로 표현된다.

$$DSV \equiv \max_{I,J,Y_n} |RDS| \\ = \max_{I,J,Y_n} \left| \sum_{n=I}^J Y_n \right| \quad (3)$$

ASV(Alternation Sum Variation)는 전체 부호화된 출력 심볼 흐름에서 RAS의 피크에서 피크까지의 변화를 의미하고 식(4)로 표현된다.

$$ASV \equiv \max_{I,J,Y_n} |RAS| \\ = \max_{I,J,Y_n} \left| \sum_{n=I}^J (-1)^n \times Y_n \right| \quad (4)$$

각각 RDS와 RAS의 변화량을 나타내는 DSV와 ASV 선로 부호 파라미터가 가지는 의미는 다음과 같다. 유한한 DSV를 가진 선로 부호는 직류 성분이 없는 무 직류 특성을 가지며 유한한 ASV를 가진 선로 부호는 나이퀴스트 주파수(Nyquist frequency; f_N)에서 스펙트럼 널(spectrum null)이 발생한다. 나이퀴스트 주파수는 식(5)와 같이 시그널링 주파수(signaling frequency; R)의 반이다.

$$f_N = \frac{R}{2} = \frac{1}{2T} \quad (5)$$

표 1. MB810과 8B/10B 선로 부호 파라미터 비교

파라미터들 \ 코드	MB810	8B/10B
Input bit	8	8
Coded output bit	10	10
RDS	3	3
RAS	2.5	Not limited
DSV	6	6
ASV	5	Not limited
Spectrum bandwidth	1/(2T)	1/T

스펙트럼 널이란 나이퀴스트 주파수와 근접한 주파수에서 스펙트럼 값이 없고 연속적인 파워 스펙트럼의 모양이 V자형 모양(spectral notch)을 가질 때를 말한다. 따라서 어떤 선로 부호의 ASV가 유한하다는 의미는 나이퀴스트 주파수에서 스펙트럼 널을 가지는 최소 대역폭(MB: Minimum Bandwidth)특성이 있다는 것과 일치한다. 또 DSV, ASV의 값이 작아질수록 무 직류 특성, 최소 대역폭 특성이 뚜렷해진다. 즉, DSV가 작아질수록 주파수가 0인 지점에서 스펙트럼의 널이 더 넓어지고 ASV가 작아질수록 나이퀴스트 주파수에서 스펙트럼의 널이 더 넓어진다.

위와 같은 파라미터 설명을 바탕으로 MB810과 8B/10B 선로 부호의 파라미터 값을 표 1에 정리하였다. 표 1에서 보면 MB810 선로 부호의 경우 DSV는 6이고 ASV가 5로 유한한 값을 가진다. 이것은 선로 부호가 무 직류 특성을 지니고 있으며 최소 대역폭 특성을 가진다는 뜻이다. 그러나 8B/10B 선로 부호의 경우 DSV는 6으로 유한한 값을 가지지만 ASV는 유한한 값을 가지고 있지 않다. 다시 말하면 무 직류 특성은 지니고 있지만 최소 대역폭 특성이 없다는 뜻이다.

다음으로 MB810과 8B/10B의 전송특성을 비교하기 전에 MB810 선로부호의 최소대역폭 특성에 대하여 알아보고 최소대역폭 특성을 최대화 할 수 있는 방법에 대해 살펴본다. 그림 1은 MB810 및 8B/10B 선로부호를 사용시 단일 채널 광 이더넷 시뮬레이션 셋업 중 Rise Time 모듈의 출력(III장의 그림 6)에서 본 스펙트럼을 나타낸다. 그림 1의 첫 번째 그림에서 MB810 선로부호 사용 시 두개의 널이 발생한 것을 관찰할 수 있고 8B/10B 선로부호 경우(두번째 그림)와 달리 최소 대역폭 특성이 있다.

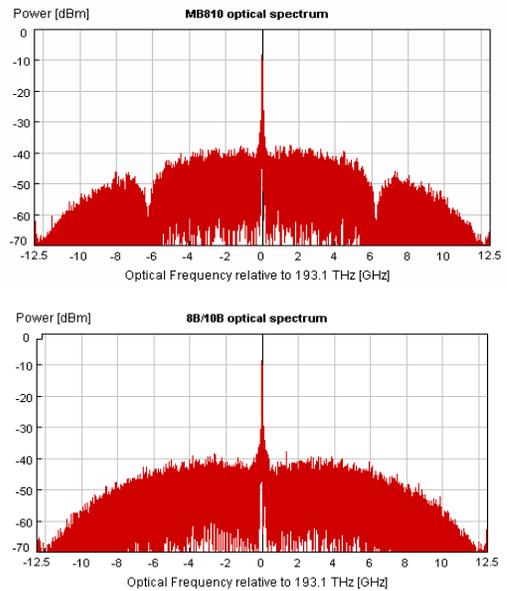


그림 1. MB810과 8B/10B 선로 부호의 스펙트럼 비교

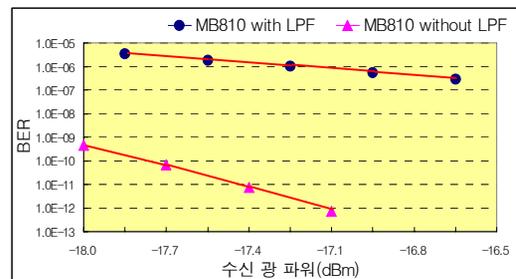


그림 2. MB810 선로부호의 최소 대역폭 전송 시뮬레이션 BER 결과

는 것을 알 수 있다. 또한 MB810 선로 부호의 최소 대역폭 전송 특성을 살펴보기 위하여 그림 6의 시뮬레이션 셋업 중 송신부에서 NRZ 모듈과 Rise Time 모듈 사이에 Bessel 저역 통과필터(LPF) 모듈을 추가한다. 추가된 필터의 차단 주파수(f_{3dB})를 $1/(2T)$ 로 맞추므로 MB810 선로부호로 부호화된 데이터를 최소 대역폭만 사용하여 전송한다. 시뮬레이션 BER 결과가 그림 2에 나타나 있다. 그림 2를 보면 전송 대역폭을 최소대역폭만으로 제한 한 경우 BER이 상당히 높아지는 것을 볼 수 있다. 그 이유는 Bessel 저역 통과 필터를 통과 할 때 그림 3과 같이 저역 통과 필터의 차단 주파수를 최소 대역폭과 일치시키면 사선 친 부분에서 차단 주파수에 근접한 신호가 왜곡되기 때문이라고 판단된다. 따라서 MB810 선로 부호로 부호화된 데이터가 Bessel 저역 통과 필터에 의해 왜곡되는 것을 최소

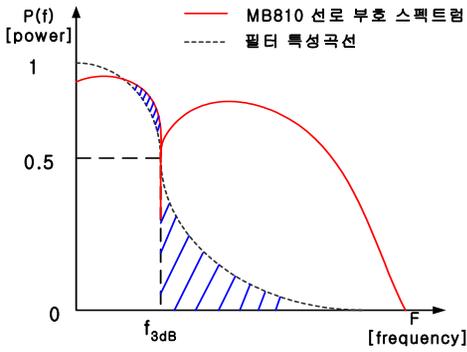


그림 3. Bessel LPF에 의한 신호 왜곡

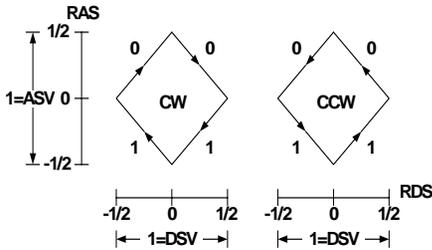


그림 4. BUDA 셀

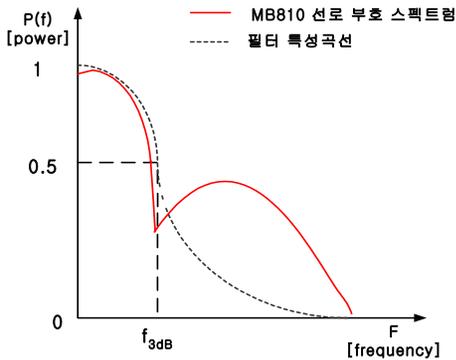


그림 5. 개선된 MB810 선로 부호의 스펙트럼

화하기 위한 방법을 제시하면 다음과 같다 첫째로, 선로 부호 파라미터 ASV를 더 작게 하여 최소 대역폭 특성을 더 뚜렷하게 만드는 것이다 최소 대역폭 특성을 지닌 선로부호를 설계하기 위한 틀인 BUDA(Binary Unit DSV and ASV)셀이 있다. BUDA 셀은 그림 4와 같이 ASV와 DSV가 각각 1인 정방형의 셀이다 최소 대역폭 선로 부호를 설계하기 위하여 BUDA 셀을 가로 세로 유한하게 조합하면 ASV, DSV가 유한하게 되므로 무 직류 특성을 가지면서 최소대역폭 특성을 갖는 선로 부호를 용이하게 설계할 수 있다^[1] BUDA 셀의 조합에 의해 생성되는 8비트의 데이터를 10비트의 데이터로

부호화하는 모든 경우(1024 가지) 수 중 현재 ASV 값보다 더 작아지도록 부호화할 수 있는 256 가지의 경우를 찾아 새로운 코드 북(code book)을 만들면 된다. 이렇게 MB810 선로 부호를 수정하고 다시 설계한다면 최소 대역폭 특성이 좀 더 뚜렷하게 개선할 수 있다고 판단되며, 그림 5와 같이 개선된 MB810 선로 부호의 스펙트럼을 예상해 볼 수 있다. 둘째로, 저역 통과 필터의 종류나 차수를 변경한다. MB810 선로 부호의 스펙트럼 특성에 최대한 적합하도록 필터의 종류나 차수를 변경하여 신호의 왜곡을 최소화하여 전송 성능을 개선 할 수 있다 또한 두 방법을 병행하면 MB810 선로부호의 최소 대역폭 특성을 더욱 더 최대화 할 수 있다

III. 시뮬레이션 셋업

본 장에서는 동일한 고속 광 이더넷에서 최소 대역폭 특성이 있는 MB810과 기존의 8B/10B 선로 부호에 따른 전송 성능 비교로 수신 광 파워에 따른 BER값을 비교한다. 이를 위해 표준화된 10기가 비트 이더넷의 물리 계층으로 모델링한 시뮬레이션 셋업은 다음과 같다. 그림 6은 Serial type LAN PHY^[7]인 10G BASE-E를 물리계층으로 사용하는 단일 채널 광 이더넷 시뮬레이션 셋업을 보여준다. 그림 7은 그림 8에서 사용되는 TX와 RX 모듈의 내부 구성을 보여준다 TX는 왼쪽에서 오른쪽으로 PRBS, NRZ, Rise Time, Laser Rate Eq 시뮬레이션 모듈로 구성되고 RX는 왼쪽에서 오른쪽으로 PIN PD, BESSEL LP, CDR 시뮬레이션 모듈로 구

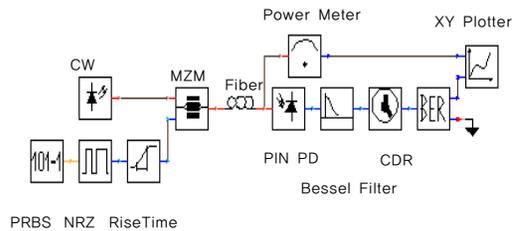


그림 6. 단일 채널 광 이더넷 시뮬레이션 셋업

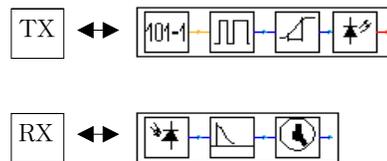


그림 7. 다중 채널 광 이더넷의 TX와 RX 시뮬레이션 셋업

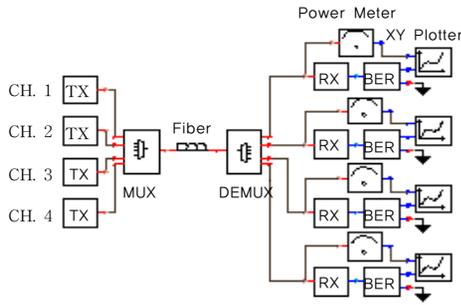


그림 8. 다중 채널 광 이더넷 시뮬레이션 셋업

성된다. 그림 8은 WDM type LAN PHY^[7]인 10GBASE-LX4를 물리계층으로 사용하는 다중 채널 광 이더넷 시뮬레이션 셋업을 보여준다

그림 6의 단일 채널 광 이더넷의 송신부는 외부 변조방식으로 변조하고 전송 속도가 12.5GBd이고 1.55 μm DFB 레이저를 사용하였다 전송 채널은 40km 단일 모드 광섬유이고 수신부는 PIN 광 검출기를 사용하였다 그림 8의 다중 채널 고속 광 이더넷의 송신부는 직접변조 방식을 사용하며 전송 속도가 3.125GBd이고 채널 1에서 채널 4의 채널 간격은 0.2 μm 로 각각 1.34 μm , 1.32 μm , 1.3 μm , 1.28 μm 인 거의 단일 모드에 가까운 FP 레이저로 구현하였다 전송 채널은 10km 단일 모드 광섬유이고 수신부는 PIN 광 검출기로 구현하였다 여기서 MUX와 DEMUX의 삽입 손실은 6dB이다. 위에 언급된 단일 다중 광 이더넷 시뮬레이션의 레이저 전송 채널, 광 검출기에 대해서 표 2와 같이 정리하였다

표 2. 단일 다중 채널 광 이더넷 시뮬레이션의 파라미터

	레이저		
	타입	동작 파장	출력광 파워
단일 채널 시뮬레이션	DFB	1.55 μm	1.61dBm
다중 채널 시뮬레이션	almost SM FP	1.34 μm , 1.32 μm , 1.3 μm , 1.28 μm	average 1.7dBm
	전송 채널		
	타입	감쇠 계수	길이
단일 채널 시뮬레이션	SM fiber	0.3dB/km	40km
다중 채널 시뮬레이션	SM fiber	0.5dB/km	10km
	광 검출기		
	타입	동작 파장	민감도
단일 채널 시뮬레이션	PIN PD	1.55 μm	-16.39dBm
다중 채널 시뮬레이션	PIN PD	1.34 μm , 1.32 μm , 1.3 μm , 1.28 μm	-19.3dBm

다음으로 두 시뮬레이션 셋업 시 사용된 각 모듈^[8]은 송신부, 전송 채널, 수신부로 나누어 진다. 송신부에는 PRBS, NRZ, Rise Time, MZM, Laser 모듈들이 있다. PRBS 모듈은 랜덤 및 이진 시퀀스의 여러 타입을 생성하는 모듈이다 NRZ 모듈은 입력 비트 열에 대해 샘플된 NRZ(Non Return to Zero)코드 신호를 생성하는 모듈이지만 시뮬레이션에서는 단지 디지털 신호를 전기 신호로 변환하는 역할을 한다 Rise Time 모듈은 사용자가 정의한 Rise-Time값으로 직사각형의 전기적인 입력 펄스를 곡면의 출력 펄스로 변환하는 가우시안 필터 모듈이다. MZM 모듈은 외부변조기의 일반적인 예로 Mach-Zehnder 변조기 모듈이다. Laser 모듈은 단일, 다중 채널 광 이더넷 시뮬레이션에서 각각 MZM 외부 변조기에 의해 외부 변조 방식에 사용되는 CW 모듈과 직접 변조방식에 사용되는 Laser Rate Eq 모듈들이다. 전송 채널의 Fiber 모듈은 비선형 Schrodinger (NLS) 방정식을 풀이한 단일 모드 광섬유(SM Fiber)를 모델링한 모듈로 Dispersion, SRS (stimulated raman scattering), FWM(four-wave mixing)등을 고려할 수 있다 수신부에는 PIN-PD, Bessel Filter, CDR 모듈들이 있다. PIN-PD 모듈은 AGWN(Additive Gaussian White Noise) 소스를 가진 Pin 포토다이오드처럼 동작하는 모듈이며 입사 광을 전기 신호로 변환하는 역할을 한다 Bessel Filter 모듈은 아날로그 Bessel 저역 통과 필터를 모델링한 모듈이다 CDR 모듈은 참조 입력 없이 수신되는 신호의 논리 정보로부터 클럭을 복원하는 모듈이다. 이 외의 Power Meter, BER, XY Plotter 모듈은 수신 광 파워에 대한 BER를 얻기 위해 사용되는 모듈이다

전송 시뮬레이션은 다음 순서로 수행된다 우선 PRBS 모듈의 ReadFromFile 타입을 사용하여 컴퓨터의 저장장치에 이미 저장된 두 선로 부호로 부호화된 데이터를 호출한다 그 후 호출된 데이터는 송신부를 구성하는 모듈에서 수신부를 구성하는 모듈로 모든 전송 대역폭을 사용하여 전송되면서 각 모듈의 전달함수에 의해 처리된다 처리된 데이터는 다시 여러 가지의 비뉴얼라이저에 의해 단일 값이나 그래프로 얻어진다.

IV. 시뮬레이션 결과 및 분석

시뮬레이션 결과들을 살펴보면 그림 9는 그림 6의 단일 채널 광 이더넷 시뮬레이션에서 BER 결과

를 보여준다. BER이 10^{-12} 일 때 수신 광 파워가 MB810이 8B/10B 선로 부호보다 약 0.6dB정도 적음을 알 수 있다. 이 결과는 시뮬레이션에서 감쇠 계수가 0.3dB/km인 단일 모드 광섬유를 사용하므로 최소 대역폭 특성이 있는 MB810 선로 부호로 전송 데이터를 부호화하여 전송한다면 2km정도 전송 거리가 길어진다는 것을 나타낸다. 그림 10~13은 그림 8의 다중 채널 광 이더넷 시뮬레이션에서 BER 결과를 보여준다. BER이 10^{-12} 일 때 수신 광 파워가 MB810이 8B/10B 선로 부호보다 0.5~1dB정도 적음을 알 수 있다. 달리 해석하면 시뮬레이션에서 감쇠 계수가 0.5dB /km인 단일 모드 광섬유를 사용하므로 MB810 선로 부호로 부호화하여 전송한다면 1~2km정도 전송 거리가 길어짐을 알 수 있다.

다중 채널 광 이더넷 시뮬레이션에서 각 채널마다 BER 결과가 조금씩 다르게 나타난다. 이것은 채널 간격이 $0.2\mu\text{m}(=3.496\text{THz})$ 로 넓고 각 채널의 레

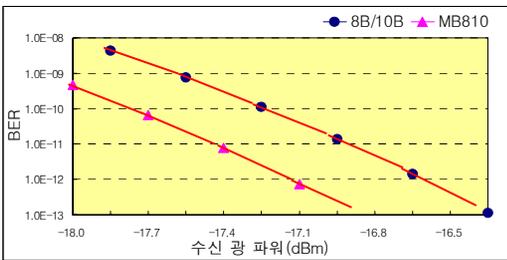


그림 9. 단일 채널 광 이더넷 시뮬레이션 BER 결과

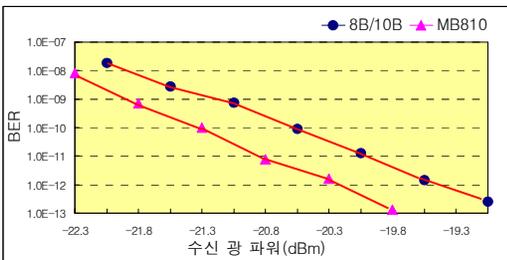


그림 10. 다중 채널 광 이더넷 시뮬레이션 BER 결과(CH. 1)

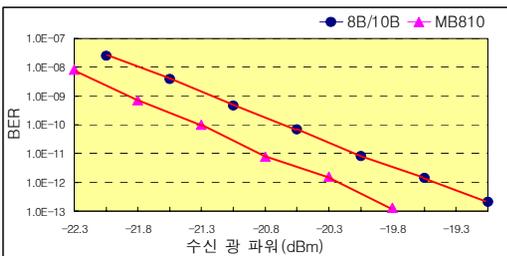


그림 11. 다중 채널 광 이더넷 시뮬레이션 BER 결과(CH. 2)

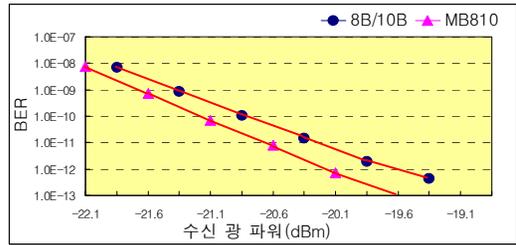


그림 12. 다중 채널 광 이더넷 시뮬레이션 BER 결과(CH. 3)

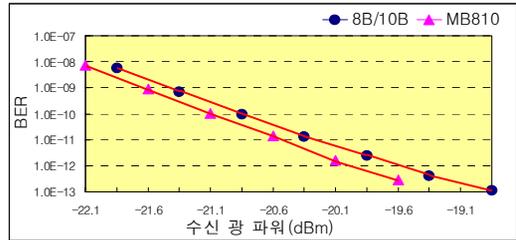


그림 13. 다중 채널 광 이더넷 시뮬레이션 BER 결과(CH. 4)

이저 출력과 PIN 광 검출기의 반응도가 동작 파장에 따라 변화도록 시뮬레이션을 수행하였기 때문이다. 직접 변조 시 레이저의 출력은 식(6)으로 표현된다. 여기서 $h\nu$ 는 광자 에너지, q 는 전자의 전위 ($=1.6 \times 10^{-19}\text{J}$), η_i 는 내부

$$P_{out} = \frac{h\nu}{2q} \frac{\eta_i a_m}{a_m + a_{int}} (I - I_{th} - \Delta I_L) \quad (6)$$

양자효율, a_m 은 거울에 의한 손실, a_{int} 은 내부 cavity 손실, I 는 주입전류로 바이어스 전류와 변조 전류의 합, I_{th} 는 임계전류, ΔI_L 은 주입전류에 따른 누출 전류의 증가량이다. 식(6)에서 보듯이 레이저의 출력이 $h\nu$ 의 ν (동작 주파수)와 비례관계이다. PIN 광 검출기의 반응도 R 은 식(7)과 같다.

$$R = 7.25 \times 10^5 \lambda \quad (7)$$

식(6)과 식(7)에서 보듯이 레이저의 출력이나 PIN 광 검출기의 반응도가 파장에 종속되어 있음을 알 수 있다.

V. 결론 및 향후 연구 과제

본 논문은 고속 광 이더넷에서 최소 대역폭 특성을 지닌 선로 부호에 의한 전송 성능의 개선 가능성을 제시하고자 이더넷에서 사용되는 8B/10B 선로 부호와 최소 대역폭 특성을 지닌 MB810 선로 부호의 파라미터에 대해 비교 분석하였다. 그리고 동

일한 고속 광 이더넷 상에서 선로 부호에 따른 전송 성능을 비교하기 위해 BER 시뮬레이션을 수행하였다. 표준화 된 10기가비트 이더넷의 Serial type LAN PHY인 10GBASE-E와 WDM type LAN PHY인 10GBASE-LX4을 물리계층으로 사용하는 단일 및 다중 채널 고속 광 이더넷에서 얻은 시뮬레이션 BER 결과는 다음과 같이 요약된다. 단일 채널인 경우 MB810이 8B/10B 선로 부호보다 BER이 0.6dB정도 적기 때문에 최소 대역폭 특성을 지닌 MB810 선로 부호로 데이터를 부호화한다면 2km정도 전송 거리가 길어지고 다중 채널인 경우 MB810 선로부호가 BER이 0.5~1dB정도 적기 때문에 MB810 선로부호의 부호화로 인해 1~2km정도 전송 거리가 길어져 전송 성능의 개선 가능성을 볼 수 있다.

향후 MB810 선로 부호의 최소 대역폭 전송 성능을 개선하기 위해 선로 부호 파라미터 ASV 값이 작아지도록 MB810 선로 부호의 설계에 대한 연구와 선로 부호의 스펙트럼 특성에 적합한 저역 통과 필터의 종류와 차수에 대한 연구가 병행되어야 한다.

참 고 문 헌

[1] A. R. Chaplyvy, "Limitation on lightwave communication imposed by optical-fiber nonlinearities," *J. Lightwave Tech.*, vol 8, pp. 1548-1557, Oct. 1990.

[2] S. Kuwano, K. Yoneagwa, and K. Iwashita, "10Gbit/s repeaterless transmission experiment of optical duobinary modulated signal," *Electronics Letter*, vol. 31, no. 16, pp.1359-1361, 1995.

[3] Thorkid Frank, Torben Norskov Nielsen, and Andrew Stentz. "Experimental verification of SBS suppression by duobinary modulation." *Proc. of ECOC'97*, pp. 71-74, Sept. 1997.

[4] C. G. Lee, D. I. Lee, and D. Y. Kim. "An evaluation for high speed optical line code: Minimum Band-width(MB) Line code MB34," *proc. of ICT'98*. vol. 1, pp.81-85, Porto-Carras, Greece, June 1998.

[5] D.Y.Kim & C.G.Lee & C.S.S & H.W.J & H.H.Lee, "White Paper on the MB810 Line Code for 10GbE", Submission to the Sept/99 HSSG Meeting.

[6] A. X. Widmer and P. A. Franzek, "A

dc-balanced, partitioned block, 8B/10B transmission code," *IBM Journal of Research and Development*, vol.27, no.5, pp.440-451, Sept.1983.

[7] IEEE 802.3ae 10Gb/s Ethernet Task Force, "Draft 3.2", 2001.

[8] Photonic Modules Reference Manual, VPItransmissionMaker™.

김 창 봉 (Chang-Bong Kim)

종신회원



1983년 2월 고려대학교 전자공학과 졸업
1988년 6월 Florida Tech. 전자공학과(석사)
1992년 5월 Texas A&M University Electrical Eng.(공학박사)

2000년 9~현재 IEEE Senior Member

1992년~현재 공주대학교 정보통신공학부 정교수
<관심분야> 반도체레이저, 광섬유레이저, 광섬유센서

고 제 수 (Je Soo Ko)

정회원



1981년 울산대학교 전기공학과(학사)
1983년 고려대학교 대학원 전자공학과(석사)
1983년 3월~현재 한국전자통신연구원 책임연구원 TDM 기술팀장

<관심분야> 광전송, TDM/SDH/WDM 전송방식, OTN 신호전달

김 익 상 (Ik-Sang Kim)

정회원



1984년 2월 한양대학교 전자통신공학과 졸업
1986년 2월 한양대학교 전자통신공학과(석사)
1995년 8월 Texas A&M University Electrical Eng. (공학박사)

1987년 5월~1990년 6월 금성반도체 주임연구원
1995년 4월~1997년 3월 한국통신 전송기술연구소 선임연구원

1997년 3월~현재 배재대학교 IT공학부 부교수
<관심분야> 광섬유증폭기, 광섬유레이저, 광섬유센서