장거리 해저 무중계 전송기술 연구

박홍태* · 김천석*

Consideration for the Repeaterless Transmission in Long Distance Optical Submarine Cable System

Hong-tae Park* · Chun-suk Kim*

요 약

수백Km 정도의 섬과 섬 섬과 내륙을 해저광케이블로 연결하는 경우 일반 국가간의 500Km이상의 장거리의 중계기 증폭 시스템과 달리 송신단 및 수신단, 광케이블에 EDFA 기술을 적용하여 무중계 시스템을 설계할 수 있다. 중계기가 없음으로 해서 중계기에 공급하는 전력시스템, 동튜브가 내장된 해저케이블, 중계 증폭시 필요한 여기 파장공급용 Laser Diode등이 필요가 없어 고신뢰성 및 경제적인 시스템을 구성 할 수 있다. 그러나 중계 증폭을 하지 않는 만큼 저손실의 광케이블을 사용하여야 한다. 이러한 광증폭 제약 요소들을 고려하여 장거리 무중계 시스템을 고찰 하였다.

ABSTRACT

The repeaterless system can be designed by applying EDFA technology in receiver, transmitter and optical cable in the case of connecting several hundred ㎞ from coast to coast, between continents or islands. Because of no repeater the repeaterless system do not need power system to feed laser diode in repeater for signal amplification and cooper tuber in submarine cable. So we can be configured more reliable and economical compared to repeater system. But lower loss optical fiber must be used to get enough signal amplitude without the amplification of repeater. This report consider long distance optical repeaterless system by reflecting the limitation factor of optical amplification.

키워드

EDFA(Erbium-Doped Fiber Amplifier), Seabed Optical Repeater, Optical Amplification, Reel Base Dispersion

Ⅰ. 서 론

수백Km의 장거리 해저케이블 시스템에서 증폭기가 없는 경우, 광섬유의 손실로 인한 신호 레벨 감소는 신호 의미의 에러가 발생하고 전송 거리가 제한되는 원인이 된다. 따라서 전송 거리가 늘어나는 경우 저손실 해저 케이블과 더불어 강력한 전송 전력과 고감도 수신기가 필요하다. 본 논문에서는 EDFA 광증폭기를 사용하여 광신호를 증폭하는 구조 및 저손실 케이블을 사용하여 장거리 무중계 시스템을 고찰 하였다[1].

Ⅱ. 본 론

무증폭 해저 광송신 시스템의 기본 구조는 다음과 같으며 그림 1은 무증폭 해저 시스템의 분류이다.

(1) 기본형: EDFA가 등장하기 전에 사용되었던 기

* 전남대학교 전자통신공학과
접수일자 : 2007. 01. 06
심사완료일자 : 2007. 02. 24

본 구조

(2) 광 전치 증폭기형: 감도를 좋게 하기 위해 광 전치 증폭기로서 유형 (1)의 수신기 바로 앞에 EDFA를 추가 설치한 유형이다.

(3) 광 전치/후치 증폭기형: 전송 신호 전력을높이기 위해 광 증폭기로서 유형 (2)의 송신기 바로 앞에 EDFA를 추가 설치한 유형이다.

(4) 원격 펌핑 광 전치 증폭기형 : 수신기로부터 수십 킬로미터 떨어진 지점의 해저 케이블 전송 광섬유에 1개의 에르븀 첨가 광섬유(EDF)를 설치한 유형이다. EDF는 전송 광섬유를 통해 육양 지점에 설치된 광원으로부터 공급되는 1.48 µm 광에 의해 원격 펌핑 된다. 펌핑된 EDF는 에러 없는 전송을 보장할 수 있도록 신호 SNR 값을 증가시키기 위해 전송 중에 약화된 신호 전력 수준을 회복시킨다.

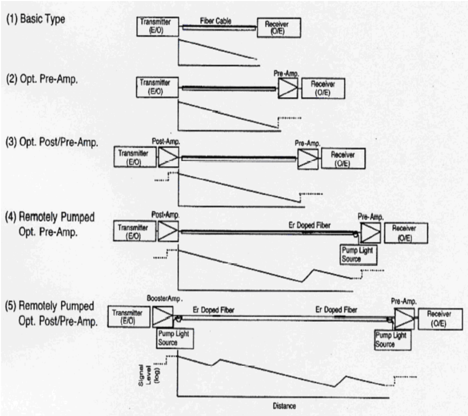

그림 1. 원격 펌핑 증폭기 시스템과 같은 해저 무증폭 전송 시스템의 구조

Fig. 1 With remote pumping amplifier system structure of same seabed nothing amplification transmission system

엄밀히 말해서 이러한 구조는 광학적인 동력을 사용하는 증폭기를 특징으로 하기는 하지만 전기적 동력을 사용하는 장치가 해저 구간에 위치한다는 점에서 무증폭기 시스템으로 분류된다.

EDF 이득뿐만 아니라 라만 이득 역시 EDF로부터 수신기에 이르는 전송 광섬유 구간에서 발생하는데, 이는 1.48 µm 역시 1.55 µm대에서 라만 증폭을 나타내는 펌프 파장에 해당하기 때문이다. 또한 이러한 배열은수신기 근처의 광섬유 구간 손실을 등량 상쇄시키므로 전송 거리를 증가시키는 데 유용하다[2].

(5) 원격 펌핑 광 전치/후치 증폭기형: 송신기로부터 수천 킬로미터 떨어진 지점에 해저 케이블의 전송 광섬유에 한 개의 에르븀 첨가 광섬유(EDF)를 추가함으로써 유형 (4)의 구조를 확대한 유형이다. 광섬유는 전송 단말 장치에서 광원에 의해 펌핑 된다. 펌핑된 EDF는 전송 시의 신호 전력 수준 감퇴를 다소 상쇄시킨다. 이러한 구조는 송신기로부터 광섬유로 전달된 신호 전력을 등량 늘리는 동시에 광섬유 비선형성에 의한 전송 성능 감소와 같은 고전력에 의한 부작용을 최소화하는 신호 레벨 다이어그램을 나타낸다.

유형 (4)와 유사하게 라만 이득은 송신기와 가까운 전송 광섬유에서 발생하여 송신기 근처에서 광섬유의 구간 손실을 동량으로 상쇄하므로 전송 거리 또한 증가시킨다.

아울러 이는 EDF에 펑프광을 전달하기 위해 독립적인 광섬유로 사용된 또 하나의 원격 펌핑 EDFA 구조이다.

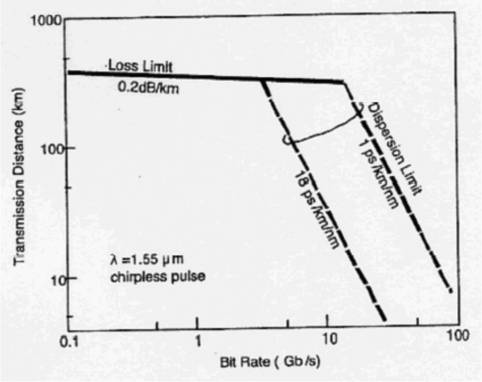

그림 2. 전송 제한

Fig. 2 Transmission limit

그림 2는 무증폭기 시스템 유형 (1)-(3)의 전송 속도와 전송 거리 간의 관계에 관한 예시이다.

상기그래프에서의 손실 제한은 전송 속도에 대하여 에러율을 일정하게 유지하기 위해 필요한 수신 신호 전력을 의미한다. 이 때 전송 속도가 증가할수록 전송 거리는 감소한다. EDFA를 사용하는 구조의 경우 손실 제한은 존재하지 않는다. 그러나 이러한 유형에는

EDFA에서의 ASE 축적으로 인한 잡음 제한이라는 문제가 있다.

상기그래프의 분산 제한은 인접한 상호 간에 펄스 간섭을 일으키는 광섬유의 색 분산으로 인한 파형 확장에서 기인한 것이다. 이 때 전송 속도가 증가함에 따라 전송 거리는 급격하게 감소한다.

신호속도가 수 Gbit/s이고 광섬유가 일반적인 분산값과 낮은 손실 특성을 나타내는 경우, 손실 제한이 분산 제한을 앞지르게 되므로 전송 거리는 400 km까지 가능하다[3][4].

그러나 10 Gbit/s 이상의 전송 속도에서는 분산 제한이 우위를 보임에 따라 분산값이 작지 않다면 전송 거리가 심하게 제한된다. 따라서 이상적인 광섬유란 신호 파장에서 최소 손실 및 최소 분산을 제공하는 것이라 할 수 있다. 널리 사용되는 표준 단일 모두 광섬유의 경우, 분산이 최소인파장과 손실이 최소인 파장은 일치하지 않는 것이 보통이다. 일반적으로 광섬유는 재료상의 특성으로 인해 1.5 μm 파장대역에서 최소의 손실을 나타낸다. 반면 표준 단일 모드 광섬유의 색 분산은 1.3 μm 대역에서 최소화된다.

상기와 같은 문제를 해결하기 위해 개발된 것이 분산 천이 광섬유(DSF)이다. DSF의 분산은 광섬유 특유의 굴절률 분포로 인해 1.5 μm 대역에서 최소값을 나타낸다. 그러나 손실은 굴절률분포를 변화시키는 데 필요한 도핑에 의해 약간 증가한다.

순수실리카(무첨가물)로 이루어진 코어를 포함하여 이론적으로는 제한적인 1.5 μm 대역에 초저손실 특성을 부여하는 유형의 광섬유도 있다. 이를 순수실리카코어 섬유(PSCF)라 한다. 이 광섬유의 분산은 일반적인 경우와달리 1.5 μm 대역에서 최소값을 기록하지 않는다.

상기광섬유들의 주요 특성은 표 1에 요약되어 있다.

표 1. 해저 무증폭 전송 시스템에 사용되는 광섬유
Table 1. The optical fiber which is used in nothing amplification transmission system

	단일모드 광섬유	분산천이 광섬유	순실리카코어 광섬유
손실	~0.22 dB	~0.22 dB	~0.19 dB
영분산파장	~1.3 μm	~1.5 μm	~1.3 μm
코어 첨가물	게르마늄 등	게르마늄 등	첨가물 없음

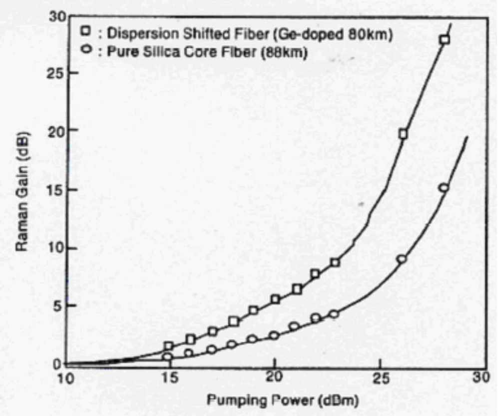

그림 3. 라만 이득
Fig. 3 Raman profit

해저무증폭 전송 시스템의 일반적인 설계 접근법은 광섬유 손실을 최소화하기 위해 신호광 파장을 선택하는 것, 그리고색 분산을 억제하기 위해 분산 천이 광섬유(DSF)를 사용하는 것이다[5].

전송거리가 500 km 안팎인 경우 순 실리카 코어 광섬유의 필요성은 절대적이다. 이 때 분산 제한을 피하기 위해서는 상대적으로 전송 속도를 낮춰야한다(수 Gbit/s 정도). 전송 거리를 늘리기 위해서는 전송 속도를 희생해야 하는 것이다.

초장거리 전송은 라만 이득을 사용할 때 가장 결과가 좋다. 그림 3은 펌프광전력과 라만 이득 간의 관계를 나타낸 것이다. 게르마늄 첨가물이 들어 있는 분산천이 광섬유(DSF)에서 약 10 dB의 이득은 수백 mW의 펌프 전력을 들여야 획득할 수 있다. 순 실리카 코어 광섬유의 경우 라만 이득은 손실과 마찬가지로 비교적 작다. 적절한 광섬유 유형은 분산 효과를 고려하여 상황에 맞게 선택되어야 한다.

그림 2에서 확인할 수 있는 거리와 비트율의 관계는 전송 신호 전력이 일정하다는 가정 하에 논의된 것이다. 이러한 조건은 그림. 1의 유형 (1) 및 유형 (2)에도 부합하는 것이다[6].

전송거리를 증가시켜야 하는 경우에는 전송 신호 전력이 하나의 해결책이 될 수 있다.

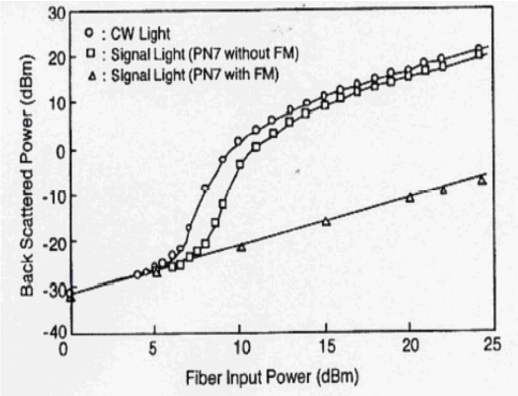

그림 4. 브릴루인 산란으로 인한 반사 전력
Fig. 4 The reflective war potential which is caused by with the dispersion which is reel base

EDFA가 광 증폭기로 사용된다면 20 dBm(100 mW) 이상의 광신호전력을 전송하는 것이 가능하다. 그림. 1의 유형 (3) 구조가 바로 그것이다. 그러나 강한 빛은 광섬유에서 브릴루인 산란을 일으킨다. 브릴루인 산란이 발생하면 광섬유에 전달된 신호 전력은 대부분입력 구간으로 되돌아가는 후방 산란광으로 전환된다. 이러한 경우 전방으로 진행하는 신호광의 전력이 증가하지 않는다. 따라서 전송된 전력의 충분한 증가를 기대할 수 없다.

대역폭이 좁고 전력이 강한 신호는 강력한 브릴루인 산란을 일으킨다.

그림. 4은 광섬유 입력 전력 및 후방 산란 전력 간의 관계를 나타낸 것이다. 비변조 지속파의 경우 지속파의 선폭이매우 좁으므로 후방 산란된 광전력은 약 6~7 dBm의 입력 전력에서 급격하게 상승한다. 광신호는 지속파를 변조하여 얻어지는 것이므로 일반적으로 신호의 선폭은 지속파의 선폭보다 더 넓다. 이 때 후방 산란된 광전력은 약 7~8 dBm의 입력 광신호 전력에서 급등한다. 이는 신호 변조의 효과만으로는 충분치 않으며 전송 전력 증가의 이점이 증명되지 않은 것임을 의미한다고 할 수 있다.

주파수 변조(FM)를 적용하는 것은 신호의 선폭을 늘리는 효과적인 방법이다. 그림 2.36에서 보는 바와 같이 FM을 적용한 신호의 후방 산란된 광전력은 급등 현상을 보이지 않는다. 이 기술을 사용하면 신호 전력이 20 dBm를 넘더라도 전송 전력은 대부분 정방향으로 진행한다.

상기와 같은 기술을 사용한 경우 전송 거리가 원하는 수준에 미치지 못한다면, 원격 펌핑 EDFA를 추가하는 것이 전송 거리를 늘리는한 가지 방법이 될 수 있다. 이에 관한 구조는 그림 1의 (4)와 (5)를 참조하도록 한다.

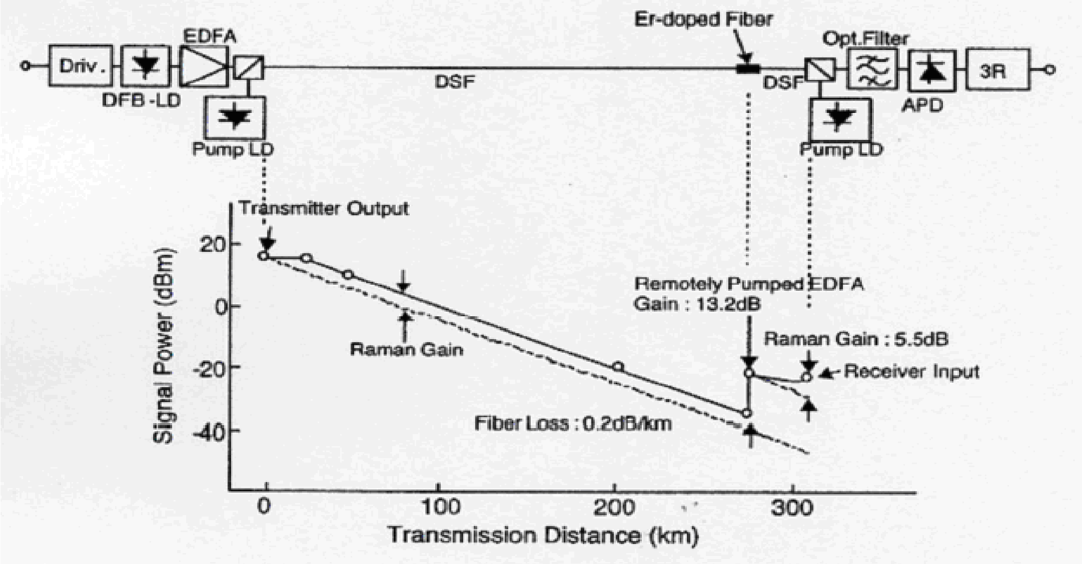

그림 5. 원격 펌핑 EDFA를 특징으로 하는 전송 회선
Fig. 5 The transmission line pumping remotely EDFA with feature

그림 5는 광전력 공급과 더불어 원격 펌핑 EDFA를 특징으로 하는 최초의 전송 실험에 관한 실험 구조 및 신호 레벨 다이어그램을 나타낸 것이다.

본 구조에서 1.55 μm의 신호광은 라만 이득을 발생시키기 위해 1.48 μm의 펌프광과 더불어 전송 광섬유로 전달된다. 수신 구역에서와 같이 1.48 μm의 펌프광은 수신 단말 장치로부터 30km 정도 떨어진 전송 광섬유에 삽입된 EDF로 전송된다. 1.48 μm의 펌프광은 EDF를 펌핑할 뿐만 아니라 EDF와 수신기 사이에 위치 광섬유에서 라만 이득을 유도한다.

신호광은 전송 구역 근처의 광섬유에서 수 dB의 라만 이득, 원격 펌핑 EDF에서 13 dB의 이득, 수신 구역 근처의 광섬유에서 5.5 dB의 라만 이득을 획득한다. 그리하여 총 20 dB 이상의 이득이 전송 길이 약 300 km 라는 결과를 이끌어낸다.

그림 6는 SNR가 원격 펌핑 EDF 지점에 관한 함수로서 변화하는 양상을 나타낸 것이다. 이 도표에서 SNR이 최대값을 나타내는 EDF 지점은 수신 단말 장치로부터 약 50km 떨어진 곳이다. 이 거리는전송 광섬유 손실, 펌프광 전력 등에 따라 달라진다. 펌프광 전력을 증가시키면 SNR과 전송 거리가 증가한다. 그러나 사용 가능한 펌프 전력은 펌프광원의 신뢰도에 의한 제한을 받는다.

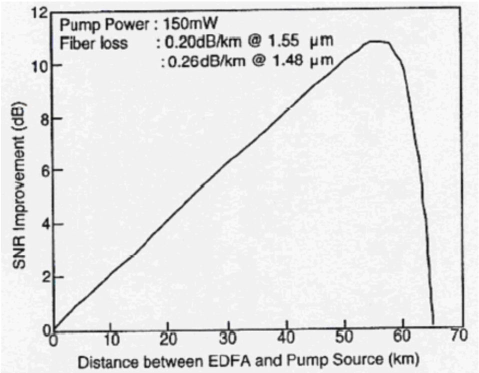

그림 6. 원격 펌핑 EDFA 사용에 따른 SNR 증가
Fig. 6 SNR due to increased use of remotely pumped EDFA

EDFA를 사용하여 전송 신호 수준을 증가시키거나 역시 EDFA를 사용하여 수신기 감도를 향상시키더라도 원하는 전송 거리를 획득할 수 없을 경우, 신호 전력을 회복시키기 위해 원격 펌핑 EDFA가 도입된다. 원격 펌핑 EDFA를 특징으로 하는 시스템을 설계함에 있어서는 EDF 매개변수는 물론 사용 가능한 펌프 전력의 제한 하에 EDF 지점을 최적화하는 것이 중요하다.

III. 결 론

거리가 수백 킬로미터인 섬과 섬을, 섬과 내륙을 연결 하는 경우 해저 증폭기를 사용하지 않고도 EDFA 기술을 사용하여 해저 전송이 가능하다. 해저 무증폭 전송 시스템은 해저 증폭기가 필요 없기 때문에 매우 경제적이다. 해저 광섬유 케이블에의 전력 공급용 동 튜브는 물론 해저 증폭기용 전력 공급 장치 또한 필요하지 않다. 또한 해저에는 전기 회로가 설치되지 않으므로 해저전송 시스템은 훨씬 더 높은 신뢰도를 갖추게 된다.

참고 문헌

[1] Shigeyuki Akiba and Shigendo Nishi, "Submarine Cable Network Systems", NTT Quality Printing Service co., May 2001.
[2] 한국통신통신시설사업단, “해저광케이블 통신기술”, June 1993.
[3] 이병기, 강민호, “광대역 네트워크”, 교학사, Oct. 2003.
[4] Henry Zanger and Cynthia Zanger, "Fiber Optics Communication and Other Applications", Macmillan Publishing Company, 1991.
[5] KDDI-SCS, 해저광통신 교육자료.
[6] NEC, 해저광통신 교육자료.

저자 소개

박홍태(Hong-tae Park)

1995년 대구대학교 정보통신공학과 졸업(공학사)
현재 전남대학교 대학원 전자통신공학과 석사과정 재학중
※ 관심분야 : 해저광통신 시스템, WDM 시스템, SDH 네트워크

김천석(Chun-suk Kim)

1980년 광운대학교 전자공학과 졸업(공학사)
1982년 건국대학교 대학원 전자통신공학과 졸업(공학석사)
1998년 경남대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
1980년 ~ 현재 전남대학교 전자통신공학과 교수
※ 관심분야 : 디지털 신호처리, 무선 통신, 정보 이론, ATM망, 인터넷통신, 컴퓨터 네트워크 등