

1530~1560 nm와 1570~1600 nm의 이득 대역을 갖는 10 Gbps×64 채널 파장 다중화된 광신호 증폭 유니트의 설계 및 특성 측정

이정찬[†] · 정희상 · 주무정 · 김광준 · 이종현

한국전자통신연구원 교환전송기술연구소 광통신연구부

(주) 305-350 대전시 유성구 가정동 161번지

(2000년 12월 5일 받음, 2001년 4월 20일 수정본 받음)

1530~1560 nm와 1570~1600 nm 대역에서 이득을 갖는 640 Gbps (10 Gbps×64채널) 파장 다중화된 광신호 증폭용 유니트를 설계, 제작하고 특성을 측정하였다. 640 Gbps 광신호 증폭 유니트의 이득 블록은 최적 광출력 특성을 유지하고 이득 블록의 동작 상태를 감시할 수 있도록 마이크로 프로세서에 의해서 제어된다. 640 Gbps 광신호 증폭 유니트의 각 대역별 광증폭 유니트는 총 입력 광 세기 범위 $-5\sim+1$ dBm에서 이득 평탄도 1 dB이내, 잡음 지수 7.2 dB 이내, +21 dBm 이상의 고출력 특성을 갖는다.

분류코드 : FO.020.

I. 서 론

광대역 정보 서비스와 고속의 데이터 전송을 위해서는 대용량 광전송 기술이 요구된다. 파장 분할 다중화(Wavelength Division Multiplexing: WDM) 기술을 도입한 광통신 분야에서는 광섬유 증폭기(Erbium-Doped Fiber Amplifier: EDFA)의 발전에 힘입어 최근 들어 테라(Tera bits per second: Tbps)급 광신호 전송 용량을 갖춘 전송 시스템이 연구되고 있다.^[1,2]

파장 분할 다중화 방식의 전송 시스템에서 전송 용량의 증대는 주로 채널 간격을 줄이는 방법이나 광증폭기의 이득 대역폭을 넓히는 방법 등이 사용된다.^[3,4] 이 모든 방법들은 기본적으로 광증폭기의 평탄 이득 대역폭에 의해 파장 분할 다중 전송에서의 가용 채널 수가 결정된다는 한계를 갖는다. 따라서 광증폭기는 가용 채널의 증가를 위한 대역폭의 확장과 채널 수 증기에 따른 고출력화를 목표로 연구, 개발되고 있다.

본 논문에서는 10 Gbps로 개별 채널 변조된 1530~1560 nm (Conventional Wavelength Band: C-band) 대역에서의 32채널과 1570~1600 nm(Long Wavelength Band: L-band) 대역에서의 32채널로 구성된 640 Gbps급 파장 다중 광전송 시스템 용 광증폭 유니트의 광학부 구성과 특성 측정 결과 및 광섬유 증폭기의 이득 블록(Gain Block) 성능 감시 및 제어 기능 구현 방법을 기술한다.

II. 640 Gbps급 광신호 증폭 유니트의 광학부 구성 및 특성

640 Gbps급 광신호 증폭 유니트(Optical Amplifier Unit: OAU)는 그림 1과 같이 1530~1560 nm[†]이득 대역 광증폭 유니

트와 1570~1600 nm[†]이득 대역 광증폭 유니트의 병렬 구조로 구성된다.^[5,6]

1530~1600 nm 대역 광신호들의 흐름은 다음과 같다.

1530~1600 nm 대역의 입력 광신호들은 C/L-band 광신호 분리/결합기에 의해서 C-band 대역과 L-band 대역으로 분리된다. 이렇게 분리된 각 대역 광신호들은 이득 제어회로에 의해서 자동 이득 조절(Auto Gain Control: AGC)되는 이득 블록 1 (Gain Block-1: GB-1)에서 각각 1차 증폭된 후, 광증폭 유니트 전체의 파장별 이득 불균형을 유지하기 위해서 사용되는 이득 평탄화 필터(Gain Flattening Filter: GFF)와 이득 블록 2의 고정 출력 조건을 유지하기 위한 전압 제어 광 감쇄기(Voltage Controlled Attenuator or Auto Power Clamping Module: VCA or APCM), 그리고 광전송 선로 구간 별 분산을 보상하는 분산 보상 광섬유(Dispersion Compensation Fiber: DCF)를 지나 이득 블록 2(Gain Block-2: GB-2)에서 2차 증폭된다. 2차 증폭된 각 대역 출력 광신호들은 C/L-band 광신호 분리/결합기에 의해서 다시 결합되어 전송된다. 사용된 C-band 대역 광 신호와 L-band 대역 광 신호의 분리/결합기는 1520.0~1562.2 nm 대역 광신호에 대해서 0.5 dB 손실 특성을 갖고, 1570.2~1604.9 nm 대역 광신호에 대해서 0.6 dB 손실 특성을 갖는다.

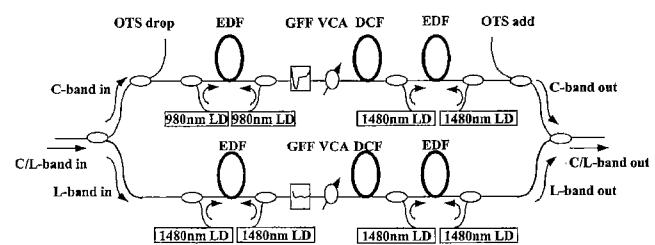


그림 1. 640 Gbps급 광증폭 유니트의 광학부 구성.

[†]E-mail: jclee@etri.re.kr

640 Gbps급 광증폭 유니트를 구성하는 C-band 광증폭 유니트의 구성 및 특성은 다음과 같다.

C-band용 이득 블록 1은 980 nm 여기용 레이저 다이오드를 이용한 양방향 여기(Bi-directional Pumping) 구조로 구성되었으며, 이득 평탄화 필터의 삽입 손실 6.0 dB, 광 감쇄기의 삽입 손실 1.0 dB, 단일 모드 광섬유 80 km의 전송로로부터 유발되는 분산을 보상하는 분산 보상 광섬유의 삽입 손실 8.0 dB, 이득 블록 2의 입력 광 세기 +2.5 dBm를 감안하여 +17.5 dBm 이상의 출력 특성을 갖는다. 사용된 분산 보상 광섬유(Lucent사, Module Type: DK-80)는 단일 모드 광섬유 80 km의 분산 보상을 위한 것으로 1530~1565 nm 대역에서 측정된 삽입 손실은 7.1~7.9 dB이고, 길이는 약 15 km이다. 사용된 980 nm 여기용 레이저 다이오드의 최대 출력은 180 mW (@270 mA)이고, 이득 매질로 사용된 어븀 첨가 광섬유는 표 1의 TYPE A인 EDF-MP980으로 15 m가 사용된다. 여기서, 양방향 980 nm 여기용 레이저 다이오드의 출력이 EDF-MP980 15 m에서 대부분 흡수되어 순방향 여기용 레이저 다이오드에 의한 역방향 여기용 레이저 다이오드에 영향을 주지 않는 것으로 관찰되었고, 반대로 역방향 레이저 다이오드에 의해서 순방향 여기용 레이저 다이오드에 영향을 주지 않는 것으로 관찰되었다.

일반적으로 어븀 첨가 광섬유에서는 입력 광신호 세기에 따른 광장별 밀도 반전(Population Inversion)의 차이로 인하여 이득 대역에서의 이득 불균형(Gain Distortion) 현상이 일어나는데 이러한 현상을 억제하고, 일정 밀도 반전을 유지하기 위해서 입력 광세기의 변화에 따라서 여기 광세기(Optical Pump Power)를 조절하도록 이득 블록 1에서는 피드백(Electrical Feedback) 기능이 사용된다.

1480 nm 여기용 레이저 다이오드를 이용하여 양방향 여기 구조로 구성된 C-band용 이득 블록 2의 입력은 +2.5 dBm으로 고정되어 있으며, 출력 단자에 연결된 광 부품들의 삽입 손실, 단일 모드 광섬유 80 km로 구성된 전송로에서의 삽입 손실, 그리고 광신호 전송 후 연결된 광증폭 유니트의 동적 범위

(Dynamic Range)를 고려하여 +21 dBm 이상의 고출력 특성을 갖는다. 사용된 1480 nm 여기용 레이저 다이오드의 최대 출력은 220 mW (@700 mA)이고, 이득 매질로 사용된 어븀 첨가 광섬유는 표 1의 TYPE A인 EDF-MP980으로 20 m가 사용된다.

이득 블록 1의 입력부와 이득 블록 2의 출력부에는 전송로의 상태 감시를 위해서 광전송 구간 감시 채널(Optical Transmission Section Supervisory Channel: OTS_SV)을 분리/결합하는 감시 채널 분리/결합기(Optical Transmission Section Add/Drop Coupler)가 부착되어 있다.

640 Gbps급 광신호 증폭 유니트를 구성하는 L-band 이득 대역 광증폭 유니트의 구성 및 특성은 다음과 같다.

L-band용 이득 블록 1은 이득 평탄화 필터의 삽입 손실 4.8 dB, 광 감쇄기의 삽입 손실 1.0 dB, 단일 모드 광섬유 80 km의 전송로로부터 유발되는 분산을 보상하는 분산 보상 광섬유의 삽입 손실 8.0 dB, 이득 블록 2의 입력 광 세기 +2.2 dBm를 감안하여 1480 nm 여기용 레이저 다이오드를 이용한 양방향 여기 구조로 구성되었으며, +16 dBm 이상의 출력 특성을 갖는다. 사용된 분산 보상 광섬유(Lucent사, Module Type: DK-80)는 단일 모드 광섬유 80 km의 분산 보상을 위한 것으로 1565~1605 nm 대역에서 측정된 삽입 손실은 6.8~7.7 dB이고 길이는 약 15 km이다. 사용된 1480 nm 여기용 레이저 다이오드의 최대 출력은 220 mW(@700 mA)이고, 이득 매질로 사용된 어븀 첨가 광섬유는 표 1의 TYPE B인 ERL-2140으로 32 m가 사용된다. C-band 이득 블록 1과 같은 피드백 기능이 L-band용 이득 블록 1에서도 구현되어 사용된다.

1480 nm 여기용 레이저 다이오드를 이용한 양방향 여기 구조로 구성된 L-band용 이득 블록 2의 입력은 +2.2 dBm으로 고정되어 있으며, 출력은 C-band와 마찬가지로 +21 dBm 이상이다. 사용된 1480 nm 여기용 레이저 다이오드의 최대 출력은 220 mW(@700 mA)이고, 이득 매질로 사용된 어븀 첨가 광섬유는 표 1의 TYPE B인 ERL-2140으로 30 m가 사용된다.

본 논문에서 사용된 C-band 광 신호 증폭용 어븀 첨가 광

표 1. 어븀 첨가 광섬유의 종류별 특성

	TYPE A	TYPE B	TYPE C
Fiber Type	EDF-MP980	ERL-2140	DF1500F-1480
Erbiump Doping Concentration	478 wt ppm	1000 wt ppm	580 wt ppm
Absorption Coefficient	4.03 dB/m@980 nm 5.53 dB/m@1531 nm	8.9 dB/m@1480 nm 19.0 dB/m@1530 nm	2.85 dB/m@1480 nm 7.6 dB/m@1531 nm
Background Loss	4.08 dB/km@1220 nm	3.7 dB/km@1200 nm	3.6 dB/km@1220 nm

표 2. 이득 블록의 제어 및 감시 항목

제어/감시 항목	기능
In/out Power	입, 출력 광세기 감시
In/out Alarm	입, 출력 광세기에 대한 경보
LOS (Loss of Signal)	입, 출력 광세기가 전혀 없을 시 경보 발생과 LD 구동전류 차단
ALS (Automatic Shut Down)	LD 구동 전류 차단
LD Current	LD 구동 전류 제어
LD Temp.	LD 온도 상태 감시
LD Power	LD 출력 상태 감시
LD Current Feedback Control	일정 밀도 반전 유지를 위한 피드백 제어 기능으로서 프로그램된 수학적 함수 기능을 수행

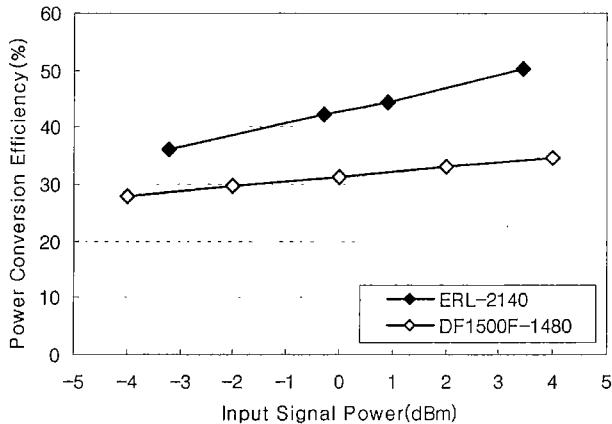


그림 2. L-band 입/출력 변환 효율 비교 실험 결과.

섬유와 L-band 광 신호 증폭용 어븀 첨가 광섬유가 다르다. 그 이유는 다음과 같다.

L-band 광증폭 어븀 첨가 광섬유의 낮은 밀도 반전에서 이루어지고, 단위 길이 당 이득(Gain/Length)과 이득 계수(Gain Coefficient)가 낮고, 잡음 지수가 높은 특성을 갖는다.^[7] 이에 대해 고 효율, 저 잡음지수의 L-band 광증폭 특성을 얻기 위한 여러 연구 결과들이 발표된 바 있었다.^[8-10]

본 논문에서는 L-band에서의 고 효율, 저 잡음 지수 특성을 얻기 위한 방안으로 L-band 광 신호 증폭에 적합한 이득 매질의 종류에 대해서 고려하였다.

표 1에 제시된 어븀 첨가 광섬유들 중 ERL-2140과 DF1500F-1480의 L-band 광증폭 특성 실험을 하였다. DF1500F-1480은 C-band 광증폭용 어븀 첨가 광섬유로 제작된 상용 제품이고, ERL-2140은 L-band에서의 광증폭 효율을 높이기 위한 방안으로 어븀의 첨가 농도를 높이고, 동시에 어븀 첨가 영역(Er³⁺-Doped Area)과 모드 분포(Mode Field)의 중첩율(Overlap Rate)을 높임으로써 단위 길이 당 이득 계수를 향상 시킨 실험 결과^[11]를 토대로 제작된 상용 제품이다.

이 두 가지 어븀 첨가 광섬유의 L-band 광증폭 특성을 비교하기 위해서 1480 nm 여기용 레이저 다이오드를 이용한 양방향 여기 구조를 구성하였다. 양방향 여기 광세기는 200 mW로 고정하였다. 두 가지 어븀 첨가 광섬유의 길이에 따라 최적 이득 평탄 특성을 얻을 수 있는 입력 광 세기 조건과 출력 광 세기를 측정하였고, 이러한 조건을 최적 조건으로 설정하여 그 결과들을 상호 비교하여 보았다.

L-band 광증폭의 최적 조건에서 DF1500F-1480은 단위 길이 당 이득이 약 0.25 dB/m로 측정되었고,^[12] ERL-2140은 단위 길이 당 이득이 0.76 dB/m로 측정되었다. 또한, DF1500F-1480에 비해 ERL-2140의 잡음 지수가 상대적으로 0.9 dB 낮은 결과를 얻을 수 있었다. 그림 2는 DF1500F-1480과 ERL-2140의 입/출력 광 세기 변환 효율(In/Out Optical Power Conversion Efficiency)을 비교한 결과이다. 최적 이득 평탄을 얻을 수 있는 최적 입력 광세기 조건에서 ERL-2140은 DF1500F-1480에 비해 입/출력 광 세기 변환 효율이 7.0% 이상 높아서 고출력 특성을 얻을 수 있다는 결론을 얻을 수 있

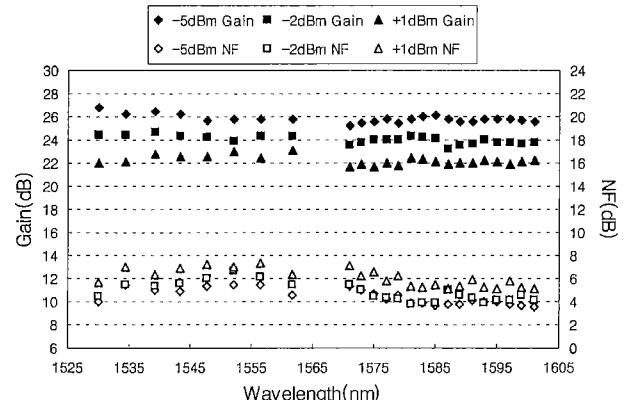


그림 3. 대역별 광증폭 유니트의 이득 스펙트럼과 잡음 지수 특성.

었다. 따라서, 본 논문에서는 C-band 광증폭용 유니트와 L-band 광증폭용 유니트에 서로 다른 이득 매질을 사용하였다.

그림 3은 앞서 언급한 구성 조건을 토대로 제작된 각 대역별 광증폭 유니트의 이득 스펙트럼과 잡음 지수의 측정 결과이다. 1530~1560 nm 이득 대역과 1570~1600 nm 이득 대역의 광증폭 유니트는 각 대역별 총 입력 광 세기 -5~+1 dBm의 동적 범위 내에서 1.0 dB 이내의 이득 평탄을 유지하며, 7.2 dB 이내의 잡음 지수 특성과 +21 dBm의 고출력 특성을 갖는다. 이러한 출력 특성의 각 대역별 광증폭 유니트를 C/L-band 광 신호 분리/결합기로 연결한 640 Gbps급 광신호 증폭 유니트는 입력 단에 사용된 C/L-band 광 신호 분리/결합기의 0.5 dB C-band 투과 광신호 삽입 손실과 0.6 dB L-band 투과 광신호 삽입 손실에 의해 잡음 지수가 저하됨은 고려되어야 한다.

이렇게 구성된 640 Gbps급 광신호 증폭 유니트의 전송 특성을 알아 보기 위해서 이득 평탄이 유지 되지 않은 상태의 640 Gbps급 광신호 증폭 유니트와 NZ-DSF 60 km로 구성된 Recirculating Loop를 사용하여 C-band 240 km와 L-band 360 km를 전송하여 광 신호 대 잡음비, 아이 패턴, 비트 오율 특성들이 보고된 바 있다.^[13]

앞으로 어븀 첨가 광섬유의 비선형 분산에 의한 전송 성능의 영향과 1570~1600 nm로 이득 대역이 확산된 광증폭기에서의 저 잡음, 이득 비동질 특성들에 관한 연구가 진행될 예정이다.^[14-17]

III. 640 Gbps급 광증폭 유니트의 이득 블록 제어 및 감시

본 장에서는 앞서 서술된 640 Gbps 광신호 증폭 유니트의 출력 특성을 유지하고, 시스템 운용 차원에서 원활하기 운용하기 위해서 사용된 유니트의 구성과 이득 블록의 제어 및 감시에 관한 내용을 기술한다.

그림 4는 640 Gbps 광증폭 유니트의 구성 블록도이다. 640 Gbps급 광증폭 유니트는 이득 블록(Gain Block: GB-1, GB-2), 고정 출력 모듈(Power Clamping Module: PCM), 이득 평탄화 필터(Gain Flattening Filter: GFF), 광전송 구간 감시

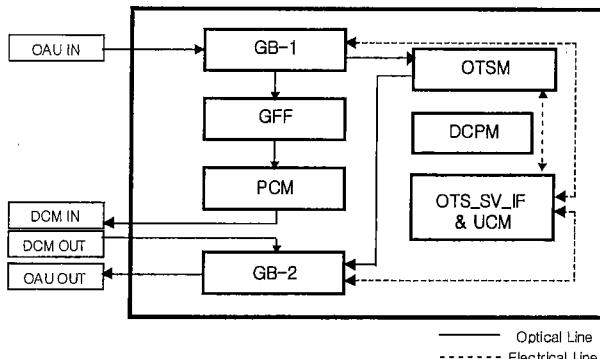


그림 4. 640 Gbps 광증폭 유니트의 구성 블록도.

제어 신호용 송,수신 모듈(Optical Transmission Section Transceiver Module: OTSM), 유니트 제어 모듈(Unit Control Module: UCM), 그리고 직류 전원 모듈(DC Power Module: DCPM)로 구성된다. 분산 보상 모듈(Dispersion Compensation Fiber Module: DCM)은 별도로 구성하여 연결된다.

이득 블록 1, 2에는 이득 제어 회로(Gain Control Circuit)가 실장 되어 있다. 이득 제어 회로는 그림 3에서 보인 640 Gbps 광신호 증폭 유니트의 광학적 출력 특성을 유지하기 위해서 640 Gbps 광증폭 유니트의 이득 블록 제어 가능과 유니트 제어 모듈에 이득 블록 1, 2의 각종 정보들을 제공하는 기능을 수행한다. 유니트 제어 모듈은 이득 제어 회로와 광전송 구간 송, 수신 모듈로부터 정보를 받아 시스템 관리자와 정보를 교환한다.

그림 5는 이득 제어 회로의 기능 블록도이다. 이득 제어 회로는 구동 전류 제어부, 광/전 변환부, 온도 조절부, 구동 전류의 Feedback기능부, 그리고 이러한 여러 기능을 총괄 제어 하는 중앙 처리부로 구성 있으며, 유니트 제어 모듈과의 통신을 위한 32 pin 병렬 통신 인터페이스부와 RS-232 병렬 포트를 이용한 임시 외부 인터페이스부로 구성 되어 있다.

표 1은 이득 제어 회로가 수행하는 이득 블록 제어 및 감시 항목들을 나타낸다. 이러한 감시, 제어와 정보 관리 기능을 위해서 이득 제어 회로에는 마이크로 프로세서가 실장 되어 유통된다. 이 마이크로 프로세서의 EEPROM에는 제어 프로그램이 저장되어 있어 표 1의 항목들을 감시, 제어한다. 따라서, 이득 블록 1, 2에서 입/출력 광신호가 일부 분기되어 광/전 변환, 검출된 전기 신호에 따라서 프로세서의 제어 프로그램은 이득 블록 1, 2의 최적 조건으로 제어하며, 이득 블록 1, 2의 제어 결과를 유니트 제어 모듈에 전달하여 시스템 관리자에게 정보를 제공한다.

여기서 이득 제어 회로의 마이크로 프로세서 내에 실장 된 제어 프로그램의 수행 기능 항목 중 가장 중요한 기능인 전기적 피드백 기능에 대해서 설명하자면 다음과 같다. 일반적으로 비 포화 영역(Unsaturated Region)의 어븀 첨가 광섬유에서는 입력 광세기에 따른 일정 밀도 반전을 유지하여 최적의 이득 평탄 특성을 얻기 위해서는 입력 광세기에 따른 여기 광세기의 조건이 선형 함수(Linear Function) 관계에 있다.^[18] 하지만, 본 논문에서는 고출력 조건을 전제로 하는 C-band 이

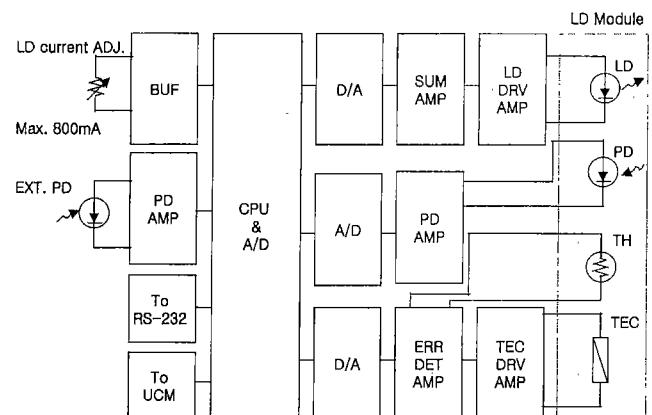


그림 5. 이득 제어 회로의 기능 블록도.

득 블록 1과 L-band 이득 블록 1의 어븀 첨가 광섬유에서 입력 광세기에 따른 일정 밀도 반전을 유지하기 위해서 입력 광세기에 따른 여기 광 세기 조건이 지수 함수(Exponential function) 관계이었음을 실험적으로 얻었다. 따라서 640 Gbps 광신호 증폭 유니트의 이득 제어 회로에는 광/전 변환되어 검출된 전기 신호에 따른 여기 광 세기 제어 방법에 있어 비선형 함수 즉, 지수 함수로 설정된 수학적 함수(Mathematical Function) 관계로 제어 프로그램에서 제어하는 피드백(Electrical Feedback) 기능이 마이크로 프로세서에 저장되어 운용된다.

IV. 결 론

1530~1600 nm 대역의 640 Gbps (10 Gbps×64채널) 파장 다중화된 광신호를 동시에 증폭하는 640 Gbps급 광증폭 유니트의 광학부와 제어부를 설계, 제작하고 특성을 측정하였다. 1530~1560 nm 이득 대역과 1570~1600 nm 이득 대역으로 구성되어 총 60 nm이득 대역폭을 갖는 640 Gbps급 광증폭 유니트의 각 대역 광증폭 유니트는 각 대역별 총 입력 광 세기 범위 -5~+1 dBm에서 이득 평탄도 1 dB이내, 잡음 지수 7.2 dB 이내, +21 dBm 이상의 고출력 특성을 갖는다.

장거리 대용량 전송을 위한 기가(Giga bits per second: Gbps)급 광증폭 기술을 바탕으로 테라(Tera bits per second: Tbps)급과 페타(Peta bits per second: Pbps)급으로의 광전송 발전기반을 마련하게 될 것이다.

감사의 글

본 연구는 정보통신부 출연 연구과제 지원으로 수행되었습 니다.

참고문헌

- [1] Y. Miyamoto, K. Yonenaga, S. Kuwahara, M. Tomizawa, A. Hirano, H. Toba, K. Murata, Y. Tada, Y. Umeda, and H. Miyazawa, “1.2-Tbit/s (30×42.7-Gbit/s ETDM optical channel) WDM transmission over 376km with 125-km

- spacing using forward error correction and carrier-suppressed RZ format," in *Optical Fiber Communication Conference 2000*, Optical Society of America, Baltimore, Maryland, USA, 2000, pp. 245-247.
- [2] G. Vareille, F. Pitel, O. Ait, and J-F. Marcerou, "1 Tbit/s WDM C+L band transmission over 4000 km of non-zero dispersion shifted fiber," in *26th European Conference on Optical Communication 2000*, Munich, Germany, 2000, pp. 69-71.
- [3] T. Ito, K. Fukuchi, and Y. Inada, "3.2Tb/s-1,500 km WDM transmission experiment using 64nm hybrid repeater amplifiers," in *Optical Fiber Communication Conference 2000*, Optical Society of America, Baltimore, Maryland, USA, 2000, PD24-1.
- [4] M. Karasek, "Design of gain-shifted erbium-doped fibre amplifiers for WDM applications," *IEE Proc.-Optoelectron.*, vol. 146, no. 3, pp. 143-148, 1999.
- [5] M. Yamada, H. Ono, T. Kanamori, S. Sudo, and Y. Ohishi, "Broadband and gain-flattened amplifier composed of a 1.55 μm-band and a 1.58 μm-band Er³⁺-doped fibre amplifier in a parallel configuration," *Electron. Lett.*, vol. 33, no. 8, pp. 710-711, 1997.
- [6] T. Sakamoto, J. Kani, M. Jinno, S. Aisawa, M. Fukui, M. Yamada, and K. Oguchi, "Wide wavelength band (1535-1560 nm and 1574-1600 nm), 28×10 Gbit/s WDM transmission over 320 km dispersion-shifted fibre," *Electron. Lett.*, vol. 34, no. 4, pp. 392-394, 1998.
- [7] H. Ono, M. Yamada, M. Shimizu, and Y. Ohishi, "Comparison of amplification characteristics of 1.58 and 1.55 μm band EDFA's," *Electron. Lett.*, vol. 34, no. 15, pp. 1509-1510, 1998.
- [8] R. P. Espindola, P. F. Wysocki, P. S. Westbrook, and T. A. Strasser, "Low noise, high gain, high conversion efficiency L-band EDFA," in *10th Optical Amplifiers and Their Applications*, Nara, Japan, 1999, pp. 58-61.
- [9] B. K. Min, H. S. Yoon, W. J. Lee, and N. K. Park, "Coupled structure for wide-band EDFA with gain and noise figure improvements from C to L-band ASE injection," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 12, no. 5, pp. 480-482, 2000.
- [10] A. Buxens, H. N. Poulsen, A. T. Clausen, and P. Jeppesen, "Gain flattened L-band EDFA based on upgraded C-band EDFA using forward ASE pumping in an EDF section," *Electron. Lett.*, vol. 36, no. 9, pp. 821-823, 2000.
- [11] S. Ishikawa, M. Kakui, M. Nishima, and Y. Makio, "High gain per unit length silica-based erbium doped fiber for 1580 nm band amplification," in *9th Optical Amplifiers and Their Applications*, 1998, pp. 64-67.
- [12] 이정찬, 김승관, 이동호, 전영윤, Photonics Conference '99, 강원, 1999, p. 471.
- [13] 이정찬, 이상록, 정희상, 김승관, 주무정, COOC 2000, 포항공과대학교, 2000, p. 305.
- [14] S. Reichel and R. Zengerle, "Effects of nonlinear dispersion in EDFA's on optical communication systems," *J. Lightwave Technol.*, vol. 17, no. 7, pp. 1152-1157, 1999.
- [15] M. Yamada, H. Ono, and Y. Ohishi, "Low-noise, broadband Er³⁺-doped silica fibre amplifiers," *Electron. Lett.*, vol. 34, no. 15, pp. 1490-1491, 1998.
- [16] F. A. Flood, "Impact of pump and signal wavelength on inhomogeneous characteristics of L-band EDFA's," in *Optical Fiber Communication Conference 2000*, Optical Society of America, Baltimore, Maryland, USA, 2000, pp. 117-119.
- [17] 이정찬, 김승관, 정희상, 장순혁, 한진수, 주무정, Photonics Conference 2000, 제주, 2000, p. 529.
- [18] S. Y. Park, H. K. Kim, C. S. Park and S.-Y. Shin, "Doped fiber length and pump power of gain-flattened EDFA's," *Electron. Lett.*, vol. 32, no. 23, pp. 2161-2162, 1996.

Design and characteristics of 10 Gbps × 64 ch. wavelength multiplexed optical signal amplification unit with 1530~1560 nm and 1570~1600 nm gain band

Jyung Chan Lee[†], Hee Sang Chung, Moo-Jung Chu, Kwangjoon Kim, and Jong Hyun Lee

*Optical Communications Department Switching & Transmission Technology Lab.
Electronics and Telecommunications Research Institute, Taejon 305-350, KOREA*

[†]E-mail: jclee@etri.re.kr

(Received December 5, 2000 ; Revised manuscript received April 20, 2001)

The structural design and the measured characteristics of optical signal amplification unit for 640 Gbps (10 Gbps × 64 ch.) WDM transmission systems are reported. The unit is composed of two sub gain block units for the amplification of C-band (1530~1560 nm) and L-band (1570~1600 nm), respectively. Programmable microprocessors monitor the states of operation and optimize the optical output conditions. Each sub gain block unit can maintain total optical output power of +21 dBm with gain flatness of < 1 dB and noise figure of <7.2 dB for the input power in the dynamic range from -5 to +1 dBm.

Classification code : FO.020.