

## WDM용 EDFA의 이득조절 시스템을 구현하기 위한 ASE 차동 감시 방법에 대한 연구

윤호성 · 배성호 · 박재형 · 박남규

서울대학교 전기공학부 광통신시스템연구실

안성준

한국전력공사 전력연구원 시스템 통신 연구소

(2000년 1월 24일 받음, 2000년 4월 6일 수정본 받음)

본 논문에서는 새롭게 제안한 ASE 차동 감시 방법을 이용하여 EDFA의 이득 과도현상 및 정상상태의 이득 오차를 제어하는 방법에 대해 기술한다. 현재까지 EDFA의 과도현상을 해결하기 위해 제안된 방법들은 대부분 제어에 있어서 특정한 기준점을 필요로 하기 때문에 다양한 규격을 갖는 증폭기들에 적용하고자 할 때에는 증폭기 각각의 특성을 측정하여 제어 파라미터를 변경하거나 제어 회로를 수정해야 하는 불편이 있었다. 본 논문에서는 이를 해결하기 위한 방법으로서 이득 대역 양단의 ASE 파워를 서로 비교하여 얻은 이득 평탄도의 변화를 이득의 변화로 간주하는 이득 오차 검출기를 제안하였다. 제안한 방법은 이득과 이득 평탄도의 1:1 대응관계를 이용하는 것으로서, 밀도 반전의 변화를 직접적으로 반영할 뿐만 아니라, 그 동작에 있어서 제어 회로의 기준점을 필요로 하지 않기 때문에 하나의 회로를 서로 다른 이득 특성을 갖는 증폭기에 회로의 변경 없이 적용할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 이를 검증하기 위해 실제 제작된 EDFA 및 여러 개의 EDFA로 연결된 링크를 대상으로 완전한 이득 고정 시스템을 구현하였는데 제작된 증폭기의 정상상태 이득 및 이득 고정 시스템의 설계 파라미터에 무관하게 정확한 이득 고정 성능을 얻을 수 있었다.

### I. 서 론

최근의 대용량 파장분할 다중화(wavelength-division multiplexing) 전송 시스템이나 네트워크에서, EDFA(erbium-doped fiber amplifier)는 필수적인 구성요소가 되고 있다. 그러나 망을 재구성할 때나 선로의 이상으로 인하여 EDFA를 지나는 파장채널의 수가 변화하게 되면 EDFA의 이득포화현상(gain saturation effect)에 의해 정상상태 이득의 변화 및 과도 현상이 발생하여 수신기에 악영향을 미치게 된다는 사실이 이전에 발표된 논문들을 통해 이미 알려진 바 있다.<sup>[1-4]</sup>

이러한 이득변화 및 과도현상을 해결하기 위한 방법들이 최근 활발히 제안되고 있다. 예를 들면 EDFA의 입력으로 신호광 뿐 아니라 다른 파장대역의 제어광을 인가함으로써 전체 입력파워를 일정하게 유지하는 링크 제어 방법,<sup>[5,6]</sup> 광 피드백 루프를 구성하여 특정 파장에서 발진을 일으킴으로써 제어광을 생성시키는 방법,<sup>[7-9]</sup> 펌프파워를 제어하여 EDFA의 밀도반전 수준을 조정하는 펌프 제어 방법<sup>[1,10]</sup> 등을 들 수 있다. 그러나 지금까지 제안된 방법들을 이용한 이득 고정 시스템은 모두 미리 정해진 증폭이득레벨에서만 동작했으며, EDFA의 동적 특성에 대한 측정값을 바탕으로 제어 파라미터를 미리 계산해야 했다. 이 경우 서로 다른 규격을 갖는 증폭기 각각에 대해 개별적으로 회로를 설계하여 파라미터를 변경해 주어야 하기 때문에 장비를 제작하고, 또한 관리하는 측면에서는 불편한 문제가 아닐 수 없다.

본 논문에서는 제작된 EDFA의 동작특성에 무관하게 이득평

탄도를 모니터링할 수 있는 간편한 방식을 개발하고, 이렇게 얻어진 이득평탄도 파라미터를 이득 오차 파라미터로 간주하는 검출기를 이용하는 방법을 통하여 EDFA의 동작조건과 무관하게 EDFA의 이득평탄도를 유지하는 동시에, 증폭기의 이득 과도현상을 억제하는 시스템을 제안하였다.<sup>[11,12]</sup>

### II. 이론적 배경

그림 1은 EDF의 밀도 반전에 따른 이득 스펙트럼을 보여준다. EDFA의 이득은 EDF의 밀도반전과 직접적인 관계에 있게 되는데, 밀도 반전에는 입력광과 펌프광의 파워가 큰 영향을 미치게 되고 이러한 이유로 입력광의 파워가 변화하게 되면 EDFA의 이득이 변하게 된다. 밀도 반전에 영향을 미치는 또다른 요인은 EDF의 흡수 계수 및 방출 계수로서, 이 값이 파장에 따라 다르기 때문에 밀도 반전에 따른 이득 평탄도의 차이가 발생하게 되고 이는 그림 1에서 명백히 관찰할 수 있다. 또한 그림 1에서 볼 수 있듯이 일반적으로 신호대역으로 사용하는 1550 nm부근 대역에서는, 밀도반전을 변화시키면서 관찰한 이득과 이득평탄도가 1:1의 대응관계에 있게 되므로, 만약 이득평탄도를 고정시킬 수 있다면 이는 곧 이득을 고정시키는 셈이 된다. 바꾸어 말하면 이득평탄도의 변화를 모니터링함으로써 이득의 변화를 측정할 수 있게 되는 것이다.

다음으로 이득평탄도의 측정에 관해 알아보면, EDFA의 ASE 파워는 다음 (1)식과 같이 간단히 표현될 수 있다.

$$P_{ASE}(v) = NF(v)[G(v)-1]hv\Delta v \quad (1)$$

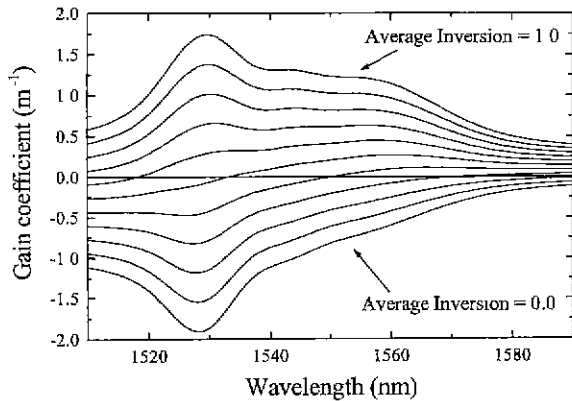


그림 1. EDF의 밀도반전에 따른 EDFA의 이득 스펙트럼.

이 식에서  $NF(v)$ ,  $G(v)$ ,  $\Delta v$ 는 각각 잡음지수, 신호이득, 측정에 사용된 광필터의 대역폭을 나타낸다. 만약  $G(v) \gg 1$ 의 조건(EDFA의 일반적인 동작조건)이 만족되고, 적절하게 설계된 이득평탄화 필터를 통해서 파장에 따른 잡음지수의 변화를 무시할 만한 수준으로 만들 수 있다면, 위의 식에 의해서 정해진 광 대역폭(optical bandwidth)에서의 ASE 파워는 해당되는 파장에서의 신호이득에 정비례하게 된다. 또한 파장에 따른 잡음지수의 변화가 약간 있다고 하더라도 주어진 EDFA에 대해 파장에 따른 잡음지수의 변화를 알고 있다면, 특정 파장에서 측정된 ASE 파워를 바탕으로 그 파장에서의 이득을 추정할 수 있게 된다.<sup>[13]</sup> 또한 이득 평탄도는 밀도반전의 함수이기 때문에,<sup>[14]</sup> 신호대역 양단에서 측정된 ASE 파워의 차이는 이득평탄도 및 밀도반전과 밀접하게 관련된 파라미터로 간주될 수 있다. 더 나아가 대부분의 광 분기/결합 다중화기에서처럼 WDM채널의 모든 입력파워가 동일하고, 적절히 설계된 필터를 통해서 잡음지수의 파장에 따른 변화가 억제된다면, 측정된 ASE 파워의 차이를 그대로 이득평탄도 및 밀도 반전 파라미터로 간주해도 무방하게 된다.

예를 들어 EDFA에 입력으로 들어가는 채널이 땅의 재구성으로 인해 분기/결합되었을 경우, EDF의 밀도반전 상태가 변화하게 되므로 측정된 ASE 파워의 차이가 증가하게 된다. 이때 신호대역 양단에서 측정된 ASE 파워의 차이를 피드백 루프의 파라미터로 이용하여 그 차이가 0이 되도록 액츄에이터를 제어하게 되면, 밀도반전 및 이득을 분기/결합 이전의 수준으로 회복시킬 수 있게 된다.

주목할 점은, 기존의 이득 오차 검출기의 경우 측정된 절대값이 제어기의 파라미터로 적용되어 온 반면, 새롭게 제안한 방법은 절대값이 아닌 측정값의 차이를 제어 파라미터로 사용하기 때문에, 개별 EDFA에 대한 사전 측정값이 필요없이 동일한 회로를 서로 다른 이득 레벨에서 동작하는 다른 EDFA에도 적용할 수 있게 된다는 점이며 이는 제안한 ASE 차동 감시 방법만의 장점이 된다.

### III. 펌프 제어 시스템 구성 및 성능 평가

펌프 제어 시스템은 채널의 스위칭으로 발생한 밀도 반전의

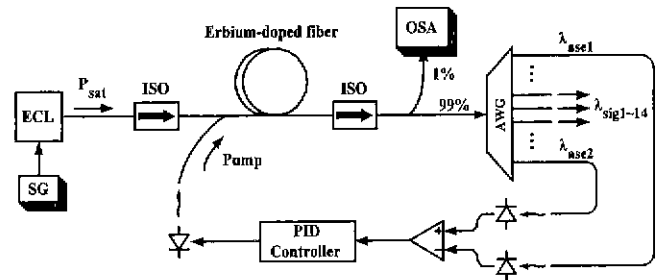


그림 2. ASE 차동 감시 방법을 이용한 펌프 제어 시스템의 구성. ISO, 광 아이솔레이터; ECL, 외부공진레이저; SG, 신호발생기; OSA, 광 스펙트럼 분석기.

변화를 펌프광의 파워를 조절함으로써 보상하기 위한 시스템으로서 채널이 추출되었을 때에는 펌프광의 파워를 줄여주고, 채널이 삽입되었을 때에는 펌프광의 파워를 늘려주는 방법을 통해 EDFA의 밀도 반전을 고정하게 된다.<sup>[11,10]</sup> 그림 2에서는 위에서 제안한 ASE 차동 감시 방법 이론을 검증하기 위한 실험에 사용된 EDFA와 펌프 제어 피드백 루프의 구조를 보여준다. EDFA는 980 nm의 LD로 전방 펌프(forward-pumping)되었고, 입력신호의 파워가 -13 dBm일 때 평탄화된 이득이 19.54 dB가 되도록 설계되었다. 이득평탄화필터를 사용하지 않은 상태에서의 1 dB-이득대역폭은 약 20.6 nm, 이득평탄도는 ASE 파워를 기준으로 0.01 dB/10 nm였다. 다파장 광원을 대신하기 위해 사용된 포화 광원(saturating tone)은 이득대역의 중앙파장에 근사하는 1552.7 nm로 세팅되었다.<sup>[15]</sup> ASE 파워는 광필터나 광섬유 브래그 격자를 이용하여 검출할 수 있으나 실험에서는 16채널 AWG의 1번(1547.1 nm)과 15번(1558.3 nm) 포트를 사용하였다. Pin-광다이오드와 저잡음의 증폭기를 이용하여 검출한 ASE를 전기적으로 증폭하였고, 비교기에서 두 값을 비교하여 차이를 계산하였다. 비교기의 출력을 오차 신호로 이용하여 펌프 피드백 루프를 동작시켰는데, 펌프 파워에 대한 이득의 변화 등, EDFA의 특성과 관련된 사전측정은 실험을 구성하는 데에 전혀 필요하지 않았고, 다만 필터의 대역폭과 pin-광다이오드 수광효율(responsivity)의 차이를 보상해 주기 위해 전치증폭기의 미세조정만이 행해졌다.

구성된 이득 고정 시스템의 정상상태 특성을 측정하기 위해서 EDFA의 입력 파워를 변화시켜가며 광스펙트럼분석기를 이용하여 출력 스펙트럼을 관찰하였다. 그림 3은 -10 dBm, -13 dBm, -16 dBm의 입력 파워에 대해 펌프 피드백 루프를 동작시키면서 0.2 nm의 분해능 대역폭(resolution bandwidth)으로 측정된 스펙트럼을 보여준다. 피드백 루프를 동작시키지 않았을 경우 0.4 dB/10 nm 이상의 이득평탄도 변화와 2 dB 이상의 이득 변화가 관찰되었던 것에 반해 피드백 루프를 동작시켰을 경우의 이득평탄도와 이득의 변화는 각각 0.03 dB/10 nm와 0.2 dB 정도로서 현저한 성능의 향상을 관찰할 수 있다.

다양한 입력파워에 대한 이득평탄도의 변화를 그림 4에서 요약해서 보여주고 있다. 피드백루프를 동작시키지 않았을 때 입력 파워의 변화에 대해 선형적으로 증가하던 이득평탄도가 피드백루프를 동작시킴으로써 0.03 dB/10 nm 이하로 억제되고 있음을 볼 수 있다. 실험에서는 -7 dBm에서 -30 dBm까지의

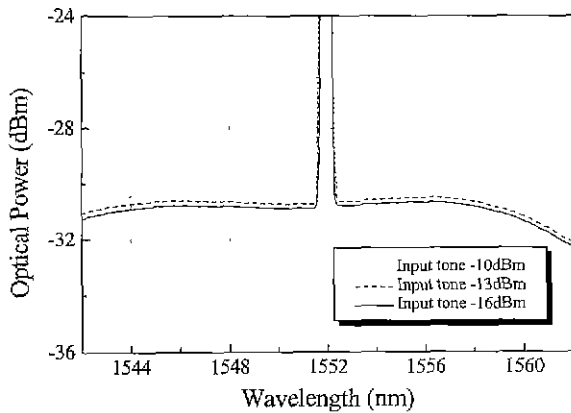


그림 3. 피드백 루프를 동작시키는 조건에서 입력 파워를 변화시켜 가며 측정된 출력 스펙트럼(RBW = 0.2 nm).

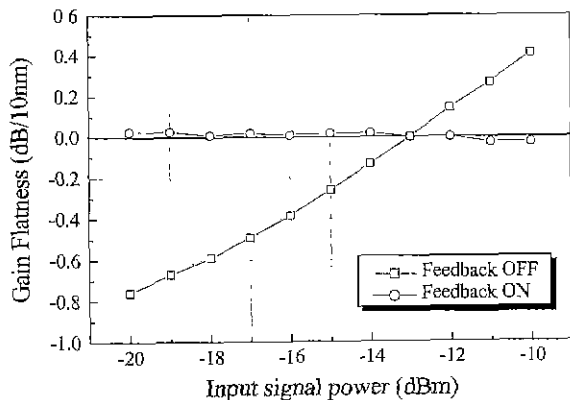


그림 4. -10 dBm에서 -20 dBm까지의 입력 파워에 대한 이득 평탄도의 변화.

입력 파워에 대해 원하는 결과를 얻을 수 있었다.

한편으로, 제작된 이득 고정 시스템의 동적 응답을 조사하기 위하여, 입력 파워를 -10 dBm과 -13 dBm 사이에서 500 Hz의 주파수를 갖는 구형파로 변조하여 WDM채널의 절반이 삽입/추출되는 상황을 실험적으로 시뮬레이션하였다. 피드백의 동작 여부에 대해, 디지털 오실로스코프를 이용하여 계산한 EDFA의 이득과도현상을 그림 5에서 보였다. 피드백을 동작시

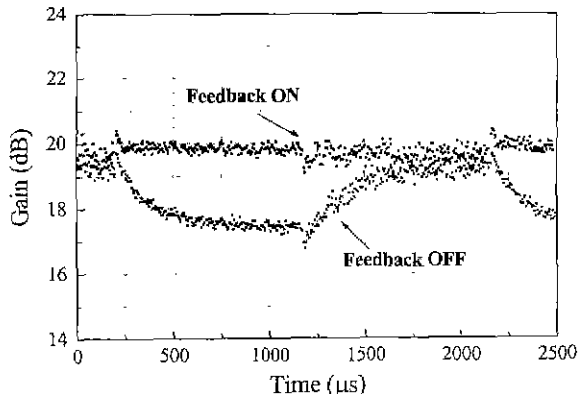


그림 5. EDFA의 입력파워를 500 Hz로 3 dB만큼 구형파 변조했을 때의 이득변화.

키지 않은 실험에서는 수백  $\mu$ s의 시간을 두고 정상상태 이득 변화가 2 dB 정도 발생하였으나, 피드백 루프를 동작시켰을 때에는 0.2 dB 정도로 억제되었고, 과도현상 역시 무시할 만한 수준인 것으로 관찰되었다.

#### IV. 링크 제어 시스템 구성 및 성능평가

이득 고정 시스템을 구현하기 위한 또 다른 방법은 여분의 신호광을 추가로 주입함으로써 밀도 반전을 고정시키는 링크 제어 시스템이다. 앞서 기술한 바와 같이 포화 상태의 EDFA에서 이득 및 이득 평탄도를 결정하는 요인은 펌프광 및 입력광의 파워가 되는데, 펌프 제어 시스템이 펌프광의 세기를 조절함으로써 밀도반전을 제어한다면, 링크 제어 시스템은 EDFA에 인가되는 입력광의 파워 변동을 여분의 제어광을 이용하여 보상함으로써 밀도반전 및 이득을 고정시키는 방법으로서 E. Desurvire 등에 의해 최초로 제안되었다.<sup>[5]</sup> 또한 A. K. Srivastava 등은 이 시스템을 여러개의 EDFA로 구성된 링크에 적용하여 첫 번째 EDFA에서 주입된 제어광을 신호광과 함께 링크를 따라 전파하게 함으로써 여러 개의 EDFA로 구성된 전체 링크의 이득 고정을 하나의 제어회로만으로 구현할 수 있음을 보인 바 있다.<sup>[6]</sup> 그러나 이전의 링크 제어 시스템에서는 EDFA의 총 입력 파워를 고정시키는 방법을 통해 이득 오차의 검출과 이득의 고정을 구현하였는데, 완벽하게 이득 평탄화되지 않은 증폭기에서는 제어광과 스위칭 된 채널의 파장이 서로 다르게 되므로 이 방법을 이용하여 이득고정을 구현할 수 없게 된다. 따라서 본 논문에서는 제안한 이득 오차 검출기의 응용을 링크 제어 시스템으로 확장하고 EDFA 링크에서의 이득 고정 성능을 분석하도록 한다.

그림 6에서는 실험에 사용된 링크제어 피드백 루프와 EDFA의 구조를 보여준다. 3개의 증폭기가 링크를 구성하고 있고, 광섬유에서의 전송손실을 시뮬레이션하기 위해 광감쇄기가 증폭기 사이에 삽입되었다. 각 증폭기는 980 nm의 레이저 다이오드를 이용하여 전방 펌핑(forward-pumping) 되었고, 정상상태에서의 이득 평탄화된 증폭이득은 각각 순서대로 22.2 dB,

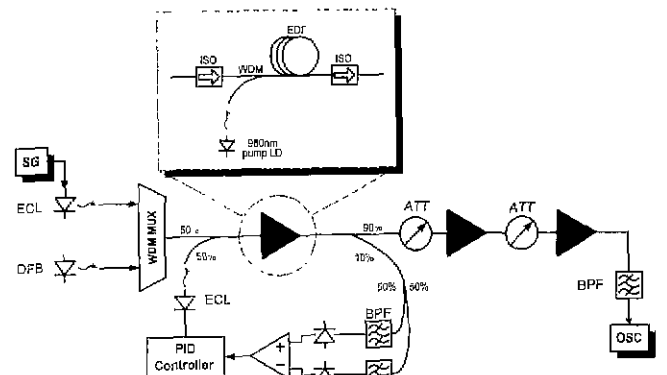


그림 6. 링크 제어 피드백 루프 및 EDFA 링크의 실험구성. ECL, 외부공진레이저; DFB, DFB 레이저; ATT, 광감쇄기; BPF, 대역통과필터; ISO, 광 아이솔레이터; WDM, 980/1550 커플러; OSC, 오실로스코프; SG, 신호발생기.

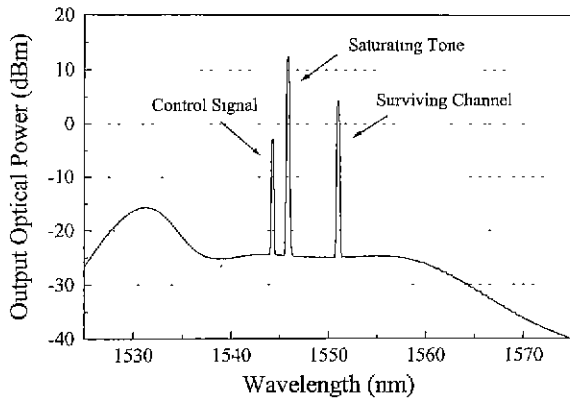


그림 7. 세 번째 EDFA에서의 출력 스펙트럼.

16.9 dB, 14.43 dB이다. 7개의 파장 채널을 대신하기 위하여 사용된 포화 광원은 1545.8 nm로 중심파장을 맞춘 외부 공진 레이저(external cavity laser)에서 -9.4 dBm의 파워로 공급되었고, 감지 광원(probe signal)은 1550.9 nm의 DFB 레이저 다이오드에서 -18 dBm의 파워로 입력되었다. 제어 회로는 첫 번째 EDFA에만 적용되며, 별도의 외부 공진 레이저를 이용하여 1544.2 nm에서 제어광을 인가하였다(그림 7).

첫 번째 EDFA의 이득편차를 측정하기 위하여 1539.9 nm와 1554.7 nm에서 파장 가변 필터를 이용하여 ASE를 검출하여 비교하였다. Pin-광다이오드와 저잡음증폭기를 이용하여 검출한 ASE를 전기적으로 증폭한 뒤, 비교기에서 두 값을 비교하여 차이를 계산하였고, 이 값을 이득 편차 파라미터로 간주하여 PID 제어를 동작시켰다. PID 제어기는 피드백 과정을 거치면서 제어광의 파워를 동적으로 조정하게 되며 이를 통해 이득 편차를 0으로 수렴시키게 된다. 제어회로를 구성함에 있어서 EDFA의 포화특성 등에 대한 측정의 전제 필요하지 않았으며 이는 앞에서 언급한 바와 같이 ASE 차동 감시 방법만의 장점이 된다.

구성된 이득고정 피드백 루프의 정상상태 응답을 조사하기 위하여 인가한 포화 광원의 파워를 변화시키면서 링크의 최종 출력에서 측정된 감지 광원 파워의 변화를 그림 8에서 보여주

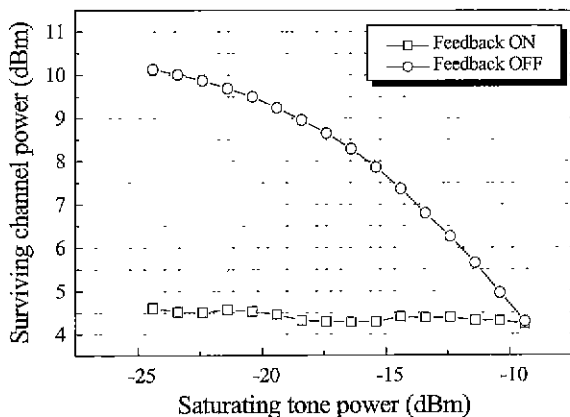


그림 8. 포화 광원의 파워를 변화시키면서 링크의 최종출력에서 측정된 감지 광원의 정상상태 파워변화.

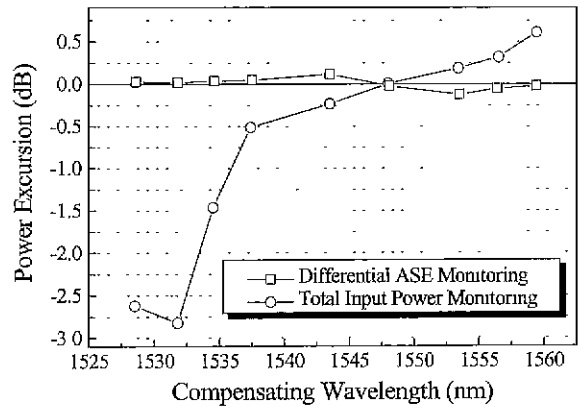


그림 9. 제어광의 파장에 따른 감지 광원의 정상상태 파워 변화를 바탕으로 본 이득 오차 검출기의 성능 비교.

고 있다. 피드백 루프를 동작시키지 않는 경우에는 EDFA의 이득 포화 현상으로 인해 포화 광원의 15 dB 증감에 따라 감지 광원의 파워가 5.5 dB 만큼 변동하게 되는 것을 볼 수 있으나, 피드백 루프를 동작시켜 이득을 고정하게 되면 포화 광원의 파워 변화로 인한 EDF 밀도 반전의 변화를 제어광의 파워가 보상해 주는 과정을 통해 감지 광원의 정상상태 파워의 변동이 0.5 dB 이내에서 억제되는 것을 확인할 수 있다. 여기에서 제어회로가 단지 첫 번째의 EDFA에만 적용되었다는 점은 다른 이득고정 방법에 대해 링크제어 방법이 갖는 장점을 잘 보여주고 있다.

그림 9에서는 하나의 EDFA에 대해 제어광의 파장을 이동시키면서 감지 광원의 정상상태 파워 변동을 측정된 결과를 보여주고 있고, 이 결과를 일반적인 링크 제어 시스템에서 사용되는 총 입력 파워 감시 방법을 사용했을 때의 결과와 비교하였다. 두 경우의 차이를 보다 명확히 하기 위해 EDFA는 비교적 높은 밀도 반전 상태에서 동작하도록 설계하여 파장에 따른 이득의 차이가 크게 되도록 조정하였다. 그림에서 볼 수 있듯이 총 입력 파워 모니터링 방법이 사용되었을 경우에는 파장에 따른 이득의 차이로 인하여 제어광의 파장이 변화함에 따라 감지 광원의 정상상태 파워 변동이 크게 발생하여 이득 고정이 불가능했으나, ASE 차동 감시 방법을 이용했을 경우에는 제어광의 파장에 무관하게 감지 광원 파워의 변동을 0.15 dB이하로 유지시킬 수 있었다. 실제의 시스템에서 제어광은 신호대역의 바깥에 위치해 있어야 하는 점을 감안할 때, 총 입력 파워 감시 방법을 이용하는 기존의 링크 제어 시스템으로는 파장에 따른 이득의 변화가 존재하는 EDFA의 이득을 정확히 제어하는 것은 불가능함을 알 수 있으며, 이는 밀도 반전의 변화를 정확하게 검출하는 ASE 차동 감시 방법을 이용함으로써 간단히 해결될 수 있음을 알 수 있다.

한편으로, 구성된 이득고정 시스템의 동적 응답을 조사하기 위하여, 포화 광원을 100 Hz의 반복율을 갖는 구형파로 -9.4 dBm에서 -13.4 dBm까지 변조하여 WDM 채널의 절반 가량이 삽입/추출되는 상황을 실험적으로 시뮬레이션하였다. 이때 링크의 최종 출력에서 측정된 감지 광원의 파워변동을 피드백 루프의 동작여부에 따라 그림 10에서 보여주고 있다. 피드백

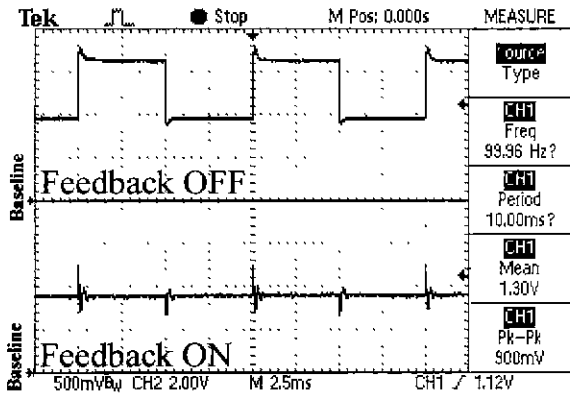


그림 10. 세 번째 EDFA의 출력에서 측정된 감지 광원의 파워 변동.

이 동작하지 않는 경우에는 채널의 삽입/추출에 따라 정상상태에서 약 2.3 dB의 이득변동을 보여주고 있는 반면에 피드백 루프를 동작시킨 경우에는 250  $\mu$ s 정도의 응답시간을 두고 최대 1.4 dB가량의 오버슈트(overshoot)를 보이지만 정상상태에서의 이득변동은 거의 없음을 볼 수 있다. 이러한 오버슈트는 첫번째의 EDFA만 통과했을 경우에는 0.9 dB이며, 증폭기를 거칠수록 오버슈트는 증가하고 응답시간은 감소하는 경향을 가진다. 실험에서는 제어광으로 이용된 외부 공진 레이저의 전류공급회로가 갖는 제한된 응답시간 때문에 제어광 파워의 조정 과정에서 발생하는 오버슈트와 진동을 더 이상 억제할 수 없었으나, 빠른 구동회로를 갖는 DFB 레이저를 제어광으로 이용하거나 레이저를 직접구동하게 되면 PID 제어기를 빠른 응답을 갖도록 적절히 설계함으로써 그 성능을 더욱 향상시킬 수 있으리라 여겨진다.

### V. 결 론

본 논문에서는 EDFA의 이득 포화 현상을 억제하기 위한 이득 고정 시스템을 구현하는 데에 있어, 이득대역 양단의 ASE 파워를 비교함으로써 EDFA의 이득평탄도를 모니터하고 이 수치를 이득의 변화로 간주하는 이득 오차 검출기를 제안하였고, 펌프 제어 시스템과 링크 제어 시스템에 성공적으로 적용하였다.

제안된 이득 오차 검출기는 이득과 이득 평탄도의 1:1 대응 관계를 이용하는 것으로서, 제어 회로의 기준점을 필요로 하지 않기 때문에 하나의 회로를 서로 다른 이득 특성을 갖는 증폭기에 회로의 변경 없이 적용할 수 있다는 장점을 갖는다. 또한 밀도 반전의 변화를 직접적으로 반영하기 때문에 이득 고정 시스템을 구현하였을 때 정상상태의 오차는 거의 발견되지 않았다.

이의 동작을 검증하기 위해서 이득 고정 시스템을 실제로 설계하여 구현하였는데, 첫 번째로 이를 펌프 제어 시스템에 적용하였을 때는 -7 dBm에서 -30 dBm 사이의 총 입력파워 변화에 대해서 0.03 dB/10 nm 이하의 이득평탄도를 구현할 수 있었으며 정상 상태에서의 이득 변동도 0.2 dB 이내로 억제할 수 있었다. 입력 파워 -7 dBm의 제한은 EDFA에 사용된 펌프의 최대 파워 한계 때문인데, 보다 큰 파워를 낼 수 있는

펌프 모듈이나 적절히 설계된 이득평탄화 필터를 이용한다면, 더 넓은 범위의 입력파워나 입력파장에 대해서도 피드백 루프를 동작시킬 수 있을 것으로 생각된다.

두 번째로 이를 링크 제어 시스템에도 적용하였는데, 구현된 이득 고정 시스템을 링크를 구성하는 첫번째의 EDFA에 적용하는 것만으로, 그 EDFA의 동작특성 뿐만 아니라 이후의 나머지 증폭기의 특성에도 무관하게 전체 EDFA 링크에서의 이득 고정을 구현할 수 있었다. 또한 EDFA의 파장에 따른 이득 변화와 제어광의 파장 선택에 무관하게 정상상태의 이득 변동 역시 0.15 dB 이내에서 억제되었다.

향후 전광 분기/결합 다중화기가 이용되는 WDM 전송망이 확대될수록 이득 고정 시스템을 채용한 EDFA의 수요는 더욱 확대될 것으로 전망되며, 본 연구에서 제안한 방법은 제작된 EDFA의 이득 특성에 무관하게 동작하므로 증폭기 제작의 편의성과 더불어 시스템 설계의 자유도를 향상시키는 데에 기여할 수 있으리라 기대된다. 특히 링크 제어 시스템에 적용하여 부스터 증폭기를 채용하는 전광 분기/결합 다중화기에서 이용할 경우, 부스터 증폭기에만 이득고정 시스템을 적용하면 이후 in-line 증폭기에는 이득제어가 필요하지 않기 때문에 더 간편하고 경제적으로 장거리 WDM 전송 시스템/네트워크를 설계하고 구성할 수 있을 것으로 생각된다.

### 참고문헌

- [1] C. R. Giles, E. Desurvire, and J. R. Simpson, *Opt. Lett.* **14**, 880 (1989).
- [2] J. L. Zyskind, Y. Sun, A. K. Srivastava, J. W. Sulhoff, A. J. Lucero, C. Wolf, and R. W. Tkach, in *Optical Fiber Communication Conference '96*, (Optical Society of America, San Jose, USA, 1996), PD31.
- [3] Miroslav Karasek, and Fred W. Willems, *J. Lightwave Tech.* **16**, 2311 (1998).
- [4] M. I. Hayee, and A. E. Willner, *IEEE Photonics Tech. Lett.* **11**, 889 (1999).
- [5] E. Desurvire, M. Zirngibl, H. M. Presby, and D. DiGiovanni, *IEEE Photonics Tech. Lett.* **3**, 453 (1991).
- [6] A. K. Srivastava, J. L. Zyskind, Y. Sun, J. Ellison, G Newsome, R. W. Tkach, A. R. Chraplyvy, J. W. Sulhoff, T. A. Strasser, C. Wolf, and J. R. Pedrazzani, *IEEE Photonics Tech. Lett.* **9**, 1667 (1997).
- [7] M. Zirngibl, *Elec. Lett.* **27**, 560 (1991).
- [8] Sang Yong Kim, Joon Chung, and ByoungHo Lee, *Elec. Lett.* **33**, 1475 (1997).
- [9] A. Bononi, and Lorenzo Barbieri, *J. Lightwave Tech.* **17**, 1229 (1999).
- [10] K. Motoshima, L. M. Leba, D. N. Chen, M. M. Downs, T. Li, and E. Desurvire, *IEEE Photonics Tech. Lett.* **5**, 1423 (1993).
- [11] Hosung Yoon, Sungho Bae, Seong Joon Ahn, Namkyoo Park, *IEEE Photonics Tech. Lett.* **11**, 316 (1999).
- [12] Hosung Yoon, Jaehyoung Park, Seong Joon Ahn, and Namkyoo Park, in *Asia-Pacific Conference on Communications and Optoelectronics and Communications Conference '99*,

- (IEEE ComSoc/LEOS and Optical Society of America, Beijing, China, 1999), 1362.
- [13] J. Burgmeier, Andreas Cords, Reinhard Marz, Christian Schaffer, and Baldur Stummer, *J. Lightwave Tech.* **16**, 1271 (1998).
- [14] Namkyoo Park, Paul F. Wysocki, Renee Pedrazzani, Steve G. Grubb, David J. DiGiovanni, and Kenneth L. Walker, *IEEE Photonics Tech. Lett.* **8**, 1148 (1996).
- [15] D. M. Baney, and J. Stimpel, *IEEE Photonics Tech. Lett.* **8**, 1615 (1996).

### **Gain clamping system of erbium-doped fiber amplifier using differential ASE monitoring**

Hosung Yoon, Sungho Bae, Jaehyoung Park and Namkyoo Park  
*Optical Communication Systems Laboratory #015 School of Electrical Engineering,  
Seoul National University, Seoul 151-742, Korea*

Seong Joon Ahn  
*Korea Electric Power Research Institute, Taejon 305-380, Korea*

(Received January 24, 2000, Revised manuscript received April 6, 2000)

*This paper presents a simple but novel gain deviation detector scheme which can be used for general gain-clamping systems. By using the difference of ASE/probe powers extracted from the edges of gain-flattened bandwidth, gain deviation of EDFA can be exactly detected regardless of the operating condition of a constructed EDFA. To prove the validity of the suggested scheme, we implemented gain clamping systems on a single EDFA and cascaded EDFA's link and achieved sufficient gain-clamping performance without the elaborate measurement for the determination of control parameters.*