

파장다중화 40 채널 광신호들의 2000 km 전송에서 링크구간 분산보상

최보훈*

Comparison of link span dispersion compensation for optical 40 wavelength division multiplexing channels at 2000 km transmission

Bo-Hun Choi*

Department of Materials Physics, Donga University, Busan 604-714, Korea

요 약

채널당 10 Gb/s 의 파장 다중화된 NRZ 광신호를 2000 km 까지 전송하면서 링크구간분산 보상 방법의 차이에 따른 성능 변화가 조사되었다. 1533.5 nm에서 1564.7 nm 사이에 100 GHz 의 주파수 간격을 가지는 40 채널의 파장 다중화 신호가 전송되었다. 링크구간 분산보상은 95%, 97.5%, 100%, 102.5% 그리고 105%가 비교되었으며 후치분산 보상이 없는 경우에는 97.5% 링크구간 분산 보상이 가장 좋은 성능을 가졌다. 총 링크거리의 누적분산 값과 링크구간당 평균분산 값의 비교를 통해 신호 성능에 미치는 분산 조건 변화의 영향을 분석하였다. 후치분산보상 최적화가 링크구간 분산보상과 함께 적용되었을 때는 102.5% 조건이 가장 좋은 결과를 보였으며 이 조건이 분산 효과와 채널 간 상호 작용의 효과가 동시에 최소화되는 균형점임을 확인하였다.

ABSTRACT

Signal performances according link span dispersion compensation conditions at the 2000 km long-haul transmission distance using 10 Gbps 40 wavelength division multiplexing channels were analyzed and compared. 95%, 97.5%, 100%, 102.5% and 105% compensation conditions were applied and 97.5% gave the best performance without post dispersion compensation. the effects of accumulated dispersion value and average dispersion value per transmission link for each link compensation condition were analyzed. When post dispersion compensation optimization was applied to five link span dispersion compensation conditions, 102.5% was given the best performance.

키워드 : 광섬유, 광통신, 분산보상, 어븀 첨가된 광섬유 증폭기, 파장 분할 다중화

Key word : Dispersion compensation, Erbium-doped fiber amplifier, optical fiber, optical communications, wavelength division multiplexing

접수일자 : 2013. 03. 04 심사완료일자 : 2013. 04. 05 게재확정일자 : 2013. 04. 21

* **Corresponding Author** Bo-Hun Choi(E-mail:adamchoi@dau.ac.kr, Tel:+82-51-200-7221)

Department of Materials Physics, Donga University, Busan 604-714, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2013.17.7.1747>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

정보통신 기술의 급격한 발전은 초고속 대용량 정보 전송의 수요를 폭발적으로 증가 시키고 있으며, 파장다중화 (wavelength multiplexing) 기반의 광통신 전송 기술은 이를 위한 독보적인 기술로 인정받고 있다. 광통신 전송 기술은 수백 km의 도시망뿐만 아니라, 최근에는 수십 km 이내의 근거리에서도 초고속 전송이라는 특징을 살린 가입자망에 적용되어 빠른 속도로 상용화되고 있다. 하지만 천 km이상의 장거리 기간망 전송에서 광통신 전송의 강점이 가장 잘 드러나는데 이는 초저손실의 광섬유 특성 때문이다[1].

광신호 장거리 전송을 위해서는 광섬유의 초저손실 특성이외에도 여러 기능의 소자들과 전송기술이 함께 적용되어서 발전되고 있는데, 그 중에는 광신호 변조 기술, 분산보상 기술, 광증폭 기술, 광신호 다중화 기술, 광수신 기술, FEC (forward error correcting) 기술들이 있고 이들이 복합화 되어 적용되고 있다. 광신호 변조 기술은 최근 DQPSK (differential quadrature phase shift keying) 같은 고급 기술을 적용하여 신호 성능을 많이 향상시켰지만 여전히 NRZ (non-return-to-zero) 나, RZ (return-to-zero) 가 상업적 가장 큰 인기를 끌고 있다. 광신호 증폭을 위해서는 어븀 첨가된 광섬유 증폭기 (EDFA) 가 가장 실용성이 높지만 라만증폭기나 반도체 광증폭기와 함께 사용되어 전체 링크의 거리에 따른 광신호 분포 (power budget)를 최적화하고 신호 성능을 높이고 있다[2].

이 같은 기술들을 장거리 전송링크에 적용시킬 때에 다양한 첨단 방법들이 시도되고 있지만 시장에 적용 가능한 기술로는 여러 가지 제약이 있고 경제성을 고려해야 하므로 실용성은 아직 부족하다. 그러므로 표준단일 모드광섬유를 전송선으로 사용하고, 변조기술로는 NRZ를, 신호 증폭은 EDFA를, 그리고 분산보상을 위해서는 분산보상광섬유를 사용하는 방법이 경제적인 관점에서 주도적인 접근법으로 이해되고 있다. 따라서 최근 광전송 링크분야의 기술적인 추세는, 학술적인 관점에서 고급기술 적용보다는 기존의 기술을 이용하여 최적화에 많은 제한들이 이루어지고 있다. 예를 들어 광링크의 power budget, 광섬유에 입사되는 광신호의 세기, 링크의 반복 거리, 그리고 분산보상 방법 등에 대한 최적화 연구가 많은 관심을 받고 있다[3,4].

장거리 전송된 광신호 성능에 결정적인 영향을 미치는 분산보상은 크게 세가지 종류로 구분된다. 즉 신호의 전송 전에 보상하는 전치 분산보상, 광신호가 전송되는 링크구간에서 보상이 이루어지는 링크구간 분산보상, 그리고 전송이 끝난 후 보상하는 후치 분산보상으로 나누어진다. 이 세가지 종류가 경우에 따라서는 일부분만, 혹은 경우에 따라서는 모두 함께 적용되기도 한다. 본 논문에서는 링크구간 보상 조건의 차이에 따른 신호 성능의 변화를 분석하였다. 이를 위해 완전한 링크분산 보상이외에 불완전 링크분산 보상이 네 가지 다른 조건을 설정하였고 각각의 경우에 신호의 전송 성능을 측정하였다. 측정 결과를 분석하기 위해 각 전송 링크의 누적분산값과 링크구간 평균 분산값을 구하고 이를 이용하여 링크구간 분산보상 조건의 차이에 따른 신호 성능의 변화를 분석하였다.

II. 실험 장치

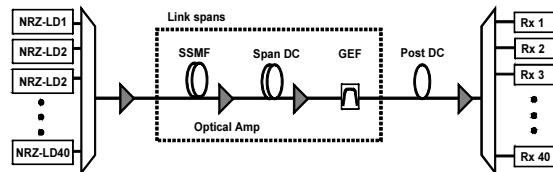


그림 1. 파장분할다중화 장거리 전송링크 개략도
Fig. 1 The experiment setup for the long-haul link

실험에서 적용될 파장분할 다중화 장거리 전송 링크의 구조가 그림 1에 주어져 있다. 파장에 따른 신호 채널들은 모두 40개로, 각 채널들은 DFB LD (distributed feedback laser diode)에서 나온 광을 처핑없는 Mach-Zehnder 변조기를 사용해 간접 변조를 시켜 10 Gb/s 전송속도의 NRZ 신호를 얻었다. 각 DFB LD의 파장은 1533.47 nm (195.5 THz)와 1564.68 nm (191.6 THz)사이에서 0.8 nm 간격 (100 GHz의 주파수 간격)을 가지며 모두 40개의 파장분할 광신호들이 사용되었다. 각 채널의 파장값은 국제표준(International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector: ITU-T)에 의해 표준화된 값을 사용하였다. 이 광신호들은 파장분할 다중화기(wavelength multiplexer)에 의해 하나의 전송선으로 입사되었다.

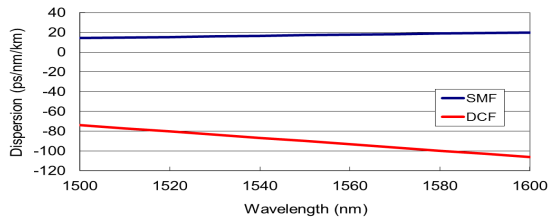


그림 2. 단일모드 광섬유와 분산보상 광섬유의 파장에 따른 분산 특성

Fig. 2 Dispersion properties of SSMF and DCF

전송구간을 통과한 광신호들은 파장분할 역다중화기 (wavelength demultiplexer)를 거쳐 개별 신호로 분기되는데, 다중화기와 역다중화기 모두 AWG (arrayed waveguide grating)를 기반으로 한 장치로 각 파장 채널의 신호 통과 특성은 40 GHz 반진폭을 가지는 3차 대역 통과 Bessel 함수 필터로서 모델링되었다. 수신기는 1 A/W responsivity 와 3 pA/(Hz)^{1/2} single side-band thermal noise density를 가지는 PIN (positive-intrinsic-negative) 광다이오드와, 7 GHz 반진폭과 3차 전기 저주파 통과 Bessel 필터로 구성되었다. 각 신호들은 PD (photo-detector)에 수신된 후 클럭회복기와 비트 에러율 테스트기로 비트 에러율 (bit error rate; BER)을 측정하였다. 광신호들은 전송선인 SSMF (standard single mode fiber)로 전송되면서 DCF (dispersion compensation fiber)를 사용하여 분산보상 했는데, 두 광섬유인 SSMF와 DCF의 손실은 각각 0.25 와 0.5 dB/km 이고 분산은 1550 nm에서 17 과 8211;90 ps/nm/km 이다. 이 광손실 값은 실제 광섬유의 손실값 보다 약간 큰데 이는 광섬유 접속손실 등을 포함하였기 때문이다.

파장에 따른 분산 값이 그림 2에 주어져 있는데, 40 개와 같이 많은 파장다중화 신호가 사용되면 각 개별 채널 마다 분산보상되는 정도가 달라지므로 이를 고려하기 위해서는 분산기울기도 함께 고려해야 한다. SSMF와 DCF 각각의 분산기울기는 0.058 과 8211;0.32 ps/nm²/km 이고 상대분산기울기는 0.0034 과 0.0036 nm⁻¹ 이다. 전송 링크를 구성하는 반복 구간인 링크구간이 그림 1에서 “Link spans”으로 표시되어 있는데 이는 광선로인 100 km SSMF와 링크분산보상 (Span DC) 을 위한 광섬유인 DCF, 이득평탄화 필터 (GEF) 그리고 광증폭기 (Optical Amp)로 구성되어 있다. SSMF에 진입 전에 송신부의 부품들에 의해 감소된

세기가 삼각형으로 표현된 광세기 증폭기인 EDFA에 의해 증폭되어 SSMF로 입사된다. 이들은 SSMF 에 의해서 손실을 겪은 후 광증폭기에 의해 증폭되고, 다시 DCF로 입사된 광신호는 손실을 겪은 후 본래 신호 세기로 복원된다. 이 과정이 20회 반복되면서 최종 2000 km 까지 전송되도록 링크를 설계하였다. 링크구간 분산보상은 SSMF 의 뒤에 사용된 DCF에 의해서 보상되었고 전치분산 보상은 사용하지 않았다. 전송 후 후치 분산 보상 (post DC)에 의해 남아있는 분산 값이 보정되었다. 전송 링크에서 사용된 증폭기는 모두 EDFA로 잡음지수는 5 dB이다. 실험에서 사용된 수직들과 광신호 세기값들은 우리의 과거 하드웨어실험에서 사용되거나 검증된 값들을 이용하였다[3-6].

광전송 실험은 대규모 장치들이 요구되며 더욱이, 실험 구성에서 실험 조건의 변화를 위해 링크의 구성을 변경시키기가 쉽지 않아서 전송 링크 실험을 위해 모델링 소프트웨어인 VPItransmissionMaker 를 사용하였다[5]. 컴퓨터 실험에서 광섬유의 광손실, 그룹속도분산(Group Velocity GVD), 자기위상변조(Self-Phase Modulation: SPM), 상호위상변조(Cross-Phase Modulation: XPM), four wave mixing (FWM), 그리고 라만산란 등의 효과와 이들 간의 상호작용이 모두 포함되었다. 신호잡음은 채널간의 라만산란 효과를 충분히 다루기 위해 40채널의 중심파장을 기준으로 하여 10240 GHz의 넓은 대역에서 계산되었다. 광신호들과 잡음의 상호작용들은 전송링크를 통해 신호가 진행되는 동안 계속해서 고려되었다.

III. 실험 및 실험 결과

링크구간분산 보상 방법 비교를 위해서는 전송 링크의 중요 변수를 최적화시키는 것이 우선적으로 필요하며, 이 전송 변수 중 핵심이 되는 것이 반복되는 링크구간에 사용되는 광섬유에 입사되는 광세기이다. 광세기가 너무 낮으면 증폭기 잡음에 의해 신호대 잡음비가 크게 왜곡이 되며, 광세기가 너무 높으면 광선로 상에서 비선형 현상 중 하나인 광신호 자체의 위상변조에 의해 또한 신호가 왜곡되기 때문이다. 사용되는 광섬유가 두 가지 종류이므로, “SSMF로 입사되는 광세기”와 “DCF로 입사되는 광세기” 둘 다 전송 성능에 크게 영향을 미친다. 이 영향의 결과는 최종 수신된 신호의 성

능인 Q 에 반영되므로, 이 링크 시스템의 성능 평가는 Q 값을 계산함으로 얻었다. 사용된 40 채널 중 대표성을 가진 세 채널을 선택하고 이 값들을 상호 비교하였으며 그 결과가 그림 3에 주어졌다. 세 채널은 장파장쪽 신호 쪽에서 채널 4 번 (1562.2 nm)을, 그리고 한 가운데 채널 20 번 (1549.3 nm), 그리고 단파장 쪽에서 채널 37 번(1535.8 nm)을 선택하여 이들의 Q 값들을 평가하였다. 제일 끝 쪽인 1번이나 40번을 피한 이유는 가장자리 채널들은 채널 간 간섭과에 의한 잡음의 영향을 충분히 반영하지 못하기 때문이다 [4, 6].

그림 3에서 그래프의 수평축과 수직축의 값들은 각각 SSMF로 입사되는 광세기와 DCF로 입사되는 광세기를 나타내는데 이 값들은 각 광섬유의 앞단에 있는 증폭기의 출력세기를 변화시켜서 조정하였다. 변화된 입력신호 세기의 조건에 따른 출력 신호 성능이 Q 값으로 주어져 있다. 세 개의 그래프는 각각 위에서부터 4번, 20번, 그리고 37번에 대한 Q 값 변화를 나타낸다. 각각 채널마다 Q값의 변화에 차이가 있고 절대값도 다르지만, 중요한 것은 각 채널에서 최고의 Q 값을 주는 조건이 다르지 않다는 것이다. 이는 40개의 입력 채널에 공통적으로 적용 가능한 최적의 입력신호 세기 조건이 있음을 의미한다. 결과적으로 SSMF로 입사되는 광세기는 18 dBm에서, DCF로 입사되는 광세기는 7 dBm에서 최적조건임을 알 수 있고 이는 선행 실험 결과와 잘 일치하였다.

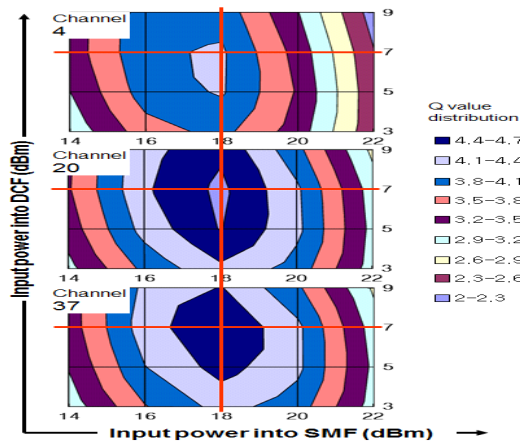


그림 3. SSMF와 DCF로 입사되는 신호에 따른 채널들의 신호 성능
Fig. 3 Q value at channel 4, 20, and 37

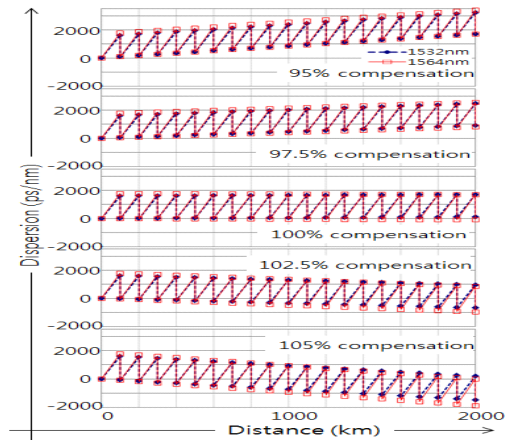


그림 4. 전송거리에 따른 누적 분산값의 변화 비교
Fig. 4 Accumulated dispersion variation

DCF의 경우 최적의 입력세기가 SSMF보다 작은 이유는 DCF의 코어 직경이 SSMF의 직경의 30~40% 밖에 되지 않아 비선형 현상에 취약하기 때문이다. 이 측정 시 링크구간보상은 100% 조건이며 후처분산보상은 사용하지 않았지만 얻어진 광신호 최적값은 분산보상 조건의 변화에 영향을 받지 않았다[6].

이 광신호 세기 값을 적용시킨 장거리 전송에서, 링크구간분산 보상의 최적화 조건을 찾기 위해 5개의 다른 조건의 전송 링크가 구성되고 이들의 결과가 비교되었다. 분산 보상값의 차이는 1550nm 파장을 기준으로 분류될 수 있는데 첫 번째 링크구간 보상 조건은 완전 보상인 100% 보상인 경우인데 이의 이미지는 1550 nm 파장에서 각 구간을 지날 때마다 SSMF에 의해 형성된 분산값이 DCF에 의해 완전히 복원되었음을 의미한다. 다음은 보상은 덜 해준 과소보상으로 95%와 97.5% 보상 조건이 선택되었고, 그 다음은 과잉으로 보상해준 과대보상의 102.5%와 105% 보상 조건이 선택되었다. 이 같은 조건에 따라 총 전송거리 2000 km를 가는 동안, 변화하는 누적분산 값이 그림 4에 그래프로 나타나 있다. 그래프에는 복잡성을 피하고 전체 40 채널들 중 파장 차가 가장 큰 1532 nm와 1564 nm 파장의 누적분산 값만 표시되어 비교되었다. 이들은 각각은 점선과 직선으로 구분되어 있다. 100% 조건보다 95%의 과소보상인 경우가 40개의 채널간에 최종적으로 누적된 분산 보상값의 차이가 최저임을 알 수 있고 과대보상으로 갈수록 채널 간 누적분산 값의 차이가 커서 채널 간 신

호 성능의 차이가 날 가능성이 큼을 알 수 있다. 그러나 누적분산 값만이 신호 성능을 좌우하는 것이 아니므로 각각의 분산조건에 대한 신호의 전송 성능을 측정하는 실험을 수행하였다.

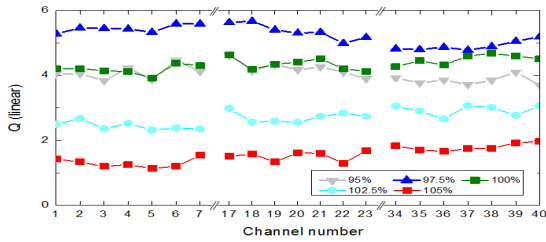


그림 5. 5가지 링크구간보상 조건의 변화에 따른 신호 성능의 비교
Fig. 5 Five link span dispersion compensations

각각의 링크구간 보상 조건에 대해서 전송 실험을 수행하여 얻은 신호 성능 값이 그림 5에 정리되었다. 40 개 채널 중 채널 간 비교의 기준이 되는 4번, 20번 그리고 37번 주위의 각각 7개의 파장다중화 채널들에 신호 성능이 함께 주어져 있는데 97.5%의 과소보상인 경우가 가장 성능이 좋았고 100% 완전보상의 경우와 95% 미만 보상인 경우가 그 다음이었으며 과대보상들은 성능이 더 떨어졌다. 누적분산 값이 큰 과대보상들은 좋지 않은 성능이 예상과 일치하였다. 하지만 과소보상인 경우에는 누적분산값이 가장 적은 95%보다 97.5%가 보다 좋은 성능을 보인 것은 예상과 차이가 있었다. 이를 정확히 해석하기 위해서는 누적분산 값뿐만 아니라 링크구간 평균 잔류분산값도 함께 고려해야 한다. 신호 성능에 영향을 주는 것은 최종적으로 수신된 신호의 펄스폭의 변화도 있지만 (누적분산 값이 주도적인 기여), 긴 전송구간을 가는 동안 파장다중화 신호간의 상호위상변조 (cross phase modulation)에 의한 신호 왜곡도 영

향을 주게 된다. 분산값이 클수록 광신호의 펄스의 폭은 넓어지고 그 결과로 광신호의 세기는 약화되므로 약화된 광신호 세기는 인접 파장의 채널간의 간섭인 상호위상변조 현상을 현격히 줄여주게 된다. 따라서 상호위상변조라는 비선형 신호 왜곡을 줄이기 위해서는 링크구간 평균잔류분산 값이 클수록 유리할 것이다. 링크구간 조건의 변화에 따른 평균잔류분산 값과 누적분산 값이 함께 표 1에 계산되어 있다. 100%의 완전분산보상의 경우, 평균잔류분산 값이 너무 적어서 상호위상변조의 영향을 많이 받게 되는 것을 확인할 수 있다. 따라서 평균잔류분산 값이 제일 작은 완전분산의 경우보다 이 값이 어느 정도 있으면서 상대적으로 누적분산 값도 크지 않은 97.5%의 과소분산보상 조건에서 균형점이 있어 가장 좋은 결과를 얻은 것을 표 1의 분산 값들의 수치를 통해 알 수 있다.

표 1. 표준단일모드 광섬유와 분산보상 광섬유의 파장에 따른 분산 특성

Table. 1 Averaged and accumulated dispersion

Dispersion compensation		Average residual dispersion	Accumulated dispersion variation
Under	95%	1700	8.96
	97.5%	854	106.88
Just	100%	102	204.8
Over	102.5%	-837	302.72
	105%	-1683	400.64

링크구간 분산과 함께 후치 분산보상이 함께 실시되는 것이 일반적이므로 이 다섯 가지 링크구간보상 조건에 후치분산보상을 적용시켰다. 각각의 링크구간 분산보상 조건으로 얻은 신호들에 후치분산 보상 최적화를 적용시켰으며 그 결과가 그림 6에 나타나 있다. 최적화 과정은 앞서 광선로에 입사되는 최적 신호 세기를 결정하는 과정과 유사하게, 대표 채널인 4, 20, 그리고 37번들의 신호 성능의 최소값이 최대가 되도록 하였다. 이

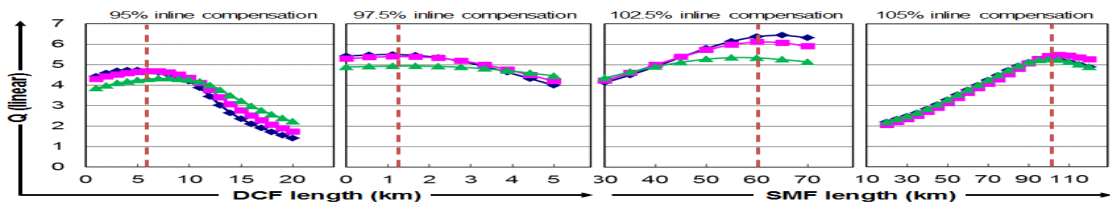


그림 6. 링크구간 분산보상 조건이 다른 신호의 전송 후 후치 분산보상 최적화 (왼쪽부터 95%, 97.5%, 102.5% 그리고 105%)
Fig. 6 Post dispersion compensation optimization for each link span compensation condition

과정의 역할은 남아 있는 누적분산 값을 최소화시키는 것이다. 따라서 과소 링크구간 분산보상의 경우는 DCF를 이용하여 음의 분산 값을 더해주고 과대 분산보상의 경우는 SMF를 이용하여 양의 분산 값을 더하여줌으로 신호 성능을 최적화 할 수 있었다. 95% 링크구간 분산 보상은 DCF 6km, 97.5% 보상은 DCF 1.2 km, 102.5%는 SMF 60km, 그리고 105%는 100 km SSMF의 후치 분산용 광섬유에 의해 신호 성능이 최적화 되었다. 100% 구간보상 조건의 경우 누적분산 값이 적어서 후치분산보상이 필요 없었다.

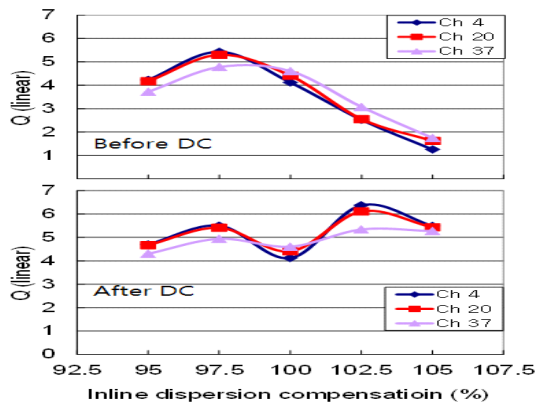


그림 7. 후치 분산보상 전후의 신호 성능
Fig. 7 comparison between before and after post DC

링크구간분산 보상 조건의 차이에 따라 전송된 후 후치분산 보상을 통해 최적화된 신호 성능의 측정 값이 그림 7의 아래쪽 그래프로 나타나 있다. 이 그림의 위쪽 그래프는 후치분산보상 최적화 시행 전의 신호 성능 값으로 두 그래프는 후치분산 최적화 전후의 신호 성능을 비교를 보여준다. 후치분산보상 전에는 97.5%의 링크구간 보상이 가장 좋은 신호 성능을 보여주었지만 후치분산보상이 링크구간보상과 함께 사용되었을 때 과대 링크구간 보상 조건들의 신호 성능이 크게 개선됨을 알 수 있다. 따라서 결과적인 신호 성능의 최적점은 102.5%의 링크구간 분산보상임을 알 수 있다. 이 최적점은 누적분산값에 의한 효과와 파장다중화 채널간의 상호위상변조의 효과 사이의 균형이 이루어진 결과다.

IV. 결 론

40 채널의 파장 다중화된 광신호를 2000 km 까지 전송하면서 링크구간 분산보상 방법의 차이에 따른 성능 변화를 조사하였다. 개별 광신호는 10 Gbps 대역폭의 NRZ 신호포맷을 사용하였고 40 채널들의 파장은 1533.5 nm에서 1564.7 nm 사이에 100 GHz의 주파수 간격을 가졌다. 반복구간은 100 km SSMF가 20회 반복되었고 광전송선로에 입사되는 광신호의 세기도 최적화되었다. 링크구간 분산보상은 95%, 97.5%, 100%, 102.5% 그리고 105%가 비교되었다. 후치분산보상이 없는 경우에는 97.5% 링크구간 분산 보상이 가장 좋은 성능을 가졌다. 이 과정에서 분산에 의한 신호왜곡을 최소화 할 수 있는 누적분산 값의 영향과 함께 분산이 너무 작을 때 채널 간 간섭의 척도가 되는 평균링크구간 분산 값의 효과가 동시에 신호 성능에 중요한 영향을 미치는 것을 확인하였다. 후치분산보상이 링크구간 분산보상과 함께 적용되었을 때 결과적으로 102.5% 조건이 가장 좋은 결과를 보였으며 이 조건이 분산 효과와 채널 간 상호 작용의 효과가 동시에 최소화되는 균형점임을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 동아대학교 연구비 지원을 받았음

REFERENCES

- [1] J. D. Downie, "High-Capacity Long-Haul Transmission using Ultra-Low Loss Optical Fiber," Opto-Electronics and Communications Conference, pp. 172 - 173, 2012.
- [2] K. Tanizawa, K. Kikuchi, K. Sugiura, S. Kurimura, H. Kuwatsuka, H. Nakajima, J. Ichikawa, and S. Namiki, "Parametric Tunable Dispersion Compensation With Spectrally Noninverting Wavelength Conversion Using Quasi-Phase-Matched Adhered Ridge Waveguide," IEEE J. Selected topics on Quantum Electronics, vol. 18, no. 2, pp. 593 - 599, 2012.
- [3] B.-H. Choi, "Power optimization of optical 40 wavelength

- division multiplexing channels at 3000 km transmission for link span variation" J. Korea. Inst. Inf. Commun. Eng., vol. 17, no. 1, Vol. 45, No. 10, pp. 1 - 8, 2006. 2013
- [4] B.-H. Choi, Y. J. Wen, and C.-B. Kim, "Modulation Format Comparison Experiments on Economic Long-haul Transmission Link Using SSMF and All EDFAs," Optical Engineering, vol. 45, no. 10, pp. 1 - 8, 2006.
- [5] B.-H. Choi, and S. S. Lee, "Input power dynamic range analysis of SOA and EDFA link extenders on TDM-PON systems without burst effect control," Optics Communications, vol. 286, no. 1, pp. 187 - 191, 2013
- [6] B.-H. Choi, M. Attygalle, Y. J. Wen and S. D. Dods, "Dispersion Map Optimisation and Dispersion Slope Mismatch Issue on 40 Channel x 10 Gbit/s Transmission Over 3000 km Using Standard SMF and EDFA Amplification," Optics Communications, vol. 242, no. 4, pp. 525 - 5322, 2004.



최보훈(Bo-Hun Choi)

1992년 부산대학교 물리학 학사
1996 ~ 1998년 삼성전자 근무
2001년 8월 KAIST(ICU) 공학 박사