

## 파장다중화 광신호의 3000km 전송을 위한 후치분산 보상 방법 비교

최보훈\*

### Comparison of Post-dispersion Compensation Methods for Optical 40 Wavelength Division Multiplexing Channels at 3000km Transmission

Bo-Hun Choi\*

Department of Materials Physics, Dong-A University, Busan 604-714, Korea

#### 요 약

40 채널의 파장 다중화된 광신호를 3000 km 까지 전송하면서 후치분산 보상 방법의 차이에 따른 성능 변화를 조사하였다. 개별 광신호는 10 Gbps 대역폭의 RZ 신호포맷을 사용하였고 40 채널들의 파장은 1533.5 nm에서 1564.7 nm 사이에 100 GHz 의 주파수 간격을 가졌다. 후치분산 보상을 위해 40개의 개별채널 별로 후치분산을 최적화하는 경우, 전 40 채널들을 하나의 분산값으로 후치분산 보상하는 경우, 그리고 제안된 방법으로 8개씩 묶은 채널 그룹별로 최적화하는 경우의 세가지 경우가 비교되었다. 최저 성능 채널과 그 성능 값은 세가지 방식에서 차이가 없었다. 최고 성능값은 전 채널을 하나의 후치분산 값으로 사용하는 경우가 다른 두 가지 방식에 비해 성능에 떨어졌지만 그룹별 방식이나 개별 채널별 방식은 차이가 없었다. 따라서 채널 그룹별로 후치분산을 통해 신호 성능의 희생 없이 전송 시스템을 단순화시킬 수 있음을 확인하였다.

#### ABSTRACT

Post-dispersion compensation methods for the 3000 km long-haul transmission distance using 10 Gbps 40 wavelength division multiplexing channels were analyzed and compared. First, each channel was compensated by an individual dispersion value, next each group of eight channels by an individual value, and lastly all forty channels by a single value. Considering the lower and highest performance channels and their values, the post-dispersion compensation method by each channel group showed the possibility to simplify the transmission system without sacrifice of signal performance

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

**Key word** : Optical fiber, Optical communications, dispersion compensation, Erbium-doped fiber amplifier, wavelength division multiplexing

접수일자 : 2013. 08. 07 심사완료일자 : 2013. 09. 26 게재확정일자 : 2013. 10. 07

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

Department of Materials Physics, Dong-A University, Busan 604-714, Korea

**Open Access** <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2013.17.10.2466>

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. 서론

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 있지만, 초저손실의 광섬유를 전송선으로 사용하는 특성으로 인해 수천 km이상의 장거리 기간망 전송에 보다 큰 강점을 가지고 있다[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 상업적으로 강력히 사용되고 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 표준 단일 모드광섬유를 전송선으로 사용하고, 변조기술로는 NRZ 나 RZ를, 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].

광신호 분산보상은 전송 전에 보상하는 전치분산 보상, 전송 중에 보상하는 링크구간 보상, 그리고 전송 후에 보상하는 후치분산 보상으로 구성되는데 사용되는 파장다중화 광신호들의 파장 대역폭이 넓을수록 복잡진다. 본 논문에서는 파장다중화 40 채널이 적용된 경우, 후치분산보상 방법의 차이에 따른 신호 성능을 비교하고 시스템 측면에서 장단점을 조사하였다. 가장 널리 사용되는 방법으로 전 채널들을 하나의 분산값으로 보상하는 방법과 경제성은 떨어지지만 높은 성능을 보장하는 개별 채널별 보상 방법, 그리고 제안되는 방법으로 채널 그룹별 보상 방법 등의 세가지 방식에서 측정된 신호 성능 차이를 분석하여 시스템 단순화의 가능성을 확인하였다.

## II. 실험 장치

실험에서 적용될 파장분할 다중화 장거리 전송 링크의 구조가 간략히 그림 1에 주어져 있다. 파장에 따른 채널은 모두 40개로, 각 채널들은 DFB LD에서 나온 광을 처핑없는 Mach-Zehnder 변조기 (MZM)을 사용하는 간접 변조를 통해 10 Gb/s 전송속도의 NRZ 신호를 먼저 형성한 뒤, 또 다른 MZM를 사용하여 RZ 포맷으로 변환되었다.

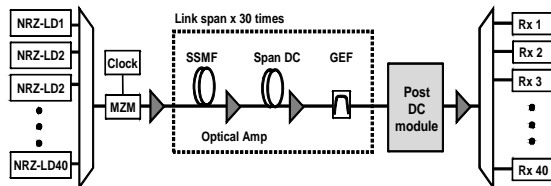


그림 1. 파장분할다중화 장거리 전송링크 개략도  
 Fig. 1 The experiment setup for optical WDM long-haul transmission link

각 DFB LD의 파장은 1533.5 nm와 1564.7 nm사이에서 100 GHz의 주파수 간격 (파장으로는 약 0.8 nm 간격)의 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 하

나의 전송선으로 입사되었다.

전송구간을 통과한 광신호들은 파장분할 역다중화기(wavelength demultiplexer)를 거쳐 개별 신호로 분기되는데, 다중화기와 역다중화기 모두 AWG(arrayed waveguide grating)를 이용한 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)<sup>1/2</sup> single side-band thermal noise density를 가지는 PIN 광다이오드와, 7 GHz 반진폭과 3차 전기 저주파통과 Bessel 필터로 구성되었다. 각 신호들은 PD(photo-dectector)에 수신된 후 클럭회복기와 비트 에러율 테스터기로 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 17 과 -90 ps/nm/km 이다. 이들의 분산기울기는 0.058 과 -0.32 ps/nm<sup>2</sup>/km 이고 상대분산기울기는 0.0034 과 0.0036 nm<sup>-1</sup> 이다. 전송 링크를 구성하는 반복 구간인 링크구간이 그림 1에서 Link span으로 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 SSMF에 의해서 손실을 겪은 후 광증폭기에 의해 증폭되고, 다시 DCF로 입사된 광신호는 손실을 겪은 후 본래 신호 세기로 복원된다. 이 과정이 30회 반복되면서 최종 3000km 까지 전송되도록 링크를 설계하였다. 사용된 증폭기는 모두 EDFA로 잡음지수는 5 dB이다. 링크구간 분산보상은 SSMF의 뒤에 사용된 DCF에 의해서 완전분산보상하였고 전치분산보상은 사용되지 않았다. 실험에서 사용된 수치들과 광신호 세기값들은 우리의 과거 하드웨어 실험에서 사용된 값들이다[3-5].

광전송 실험은 대규모 장치가 요구되며 더욱이 링크의 구성을 변경시키기가 쉽지 않아서 이 전송 링크 실험을 위해 모델링 소프트웨어인 VPItransmissionMaker를 사용하였다[4]. 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

후치분산 보상 방법의 비교에 앞서, 반복 링크구간의 중요 변수를 결정하는 것이 필요한데, 대표적인 변수는 두 광섬유에 입사되는 광원의 세기 즉 “SSMF로 입사되는 광세기”와 “DCF로 입사되는 광세기”이다. 이 값의 크기가 첫째, 광선로를 지나는 동안 신호대 잡음비, 그리고 둘째로는 광선로의 비선형 현상에 의한 신호왜곡에 큰 영향을 주기 때문이다.

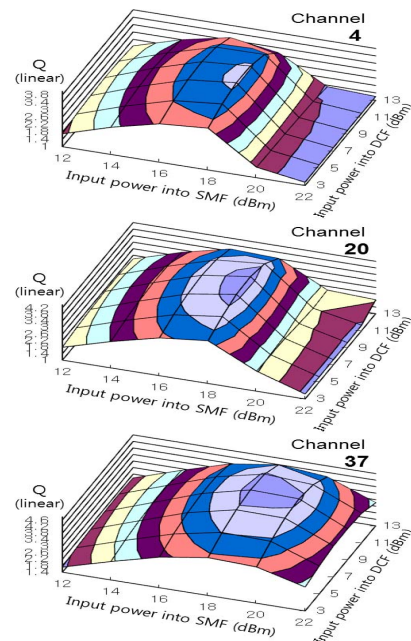


그림 2. SSMF와 DCF로 입사되는 신호 세기에 따른 채널 4, 20, 37의 신호 성능 변화  
Fig. 2 Q value at channel 4, 20, and 37

이 같은 영향의 결과는 최종 수신된 신호의 성능인 Q에 반영되므로, 이 링크 시스템의 성능 평가는 Q값을 계산함으로써 얻었다. 사용된 40 채널 중 대표성을 가진 세 채널을 선택하고 이 값들을 상호 비교하였고 그 결과가 그림 2에 주어졌다. 세 채널은 장파장쪽 신호 쪽에서 채널 4번 (1562.2 nm)을, 그리고 한 가운데 채널 20번 (1549.3 nm), 그리고 단파장 쪽에서 채널 37번 (1535.8 nm)을 선택하여 이들의 Q값들을 평가하였다. 제일 끝 쪽인 1번이나 40번을 피한 이유는 가장 자리 채널들은 채널간 간섭 효과를 충분히 반영하지 못하기 때문이다 [3, 5].

그림 2의 삼차원 그래프의 두 개의 수평축은 각각 SSMF로 입사되는 광세기와 DCF로 입사되는 광세기를 나타내며 이 값들은 각 광섬유의 앞단에 있는 증폭기의 출력세기를 변화시켜서 조정하였고, 결과적으로 얻게된 Q값의 변화가 수직축에 주어져 있다. 세 개의 그래프가 위에서부터 4번, 20번, 그리고 37번에 대한 Q값 변화를 나타낸다. 각각 채널마다 Q값의 변화에 차이가 있고 절대값도 다르지만, 중요한 것은 각 채널에서 최고의 Q값을 주는 조건이 다르지 않다는 것이다. 이는 40개의 입력 채널의 신호 세기를 개별적으로 조절할 필요가 없음을 의미한다. 결과적으로 SSMF로 입사되는 광세기는 18 dBm에서, DCF로 입사되는 광세기는 9 dBm에서 최적조건임을 알 수 있고 이는 선행 실험 결과와 잘 일치하였다. 이 측정 시 후치분산보상은 사용하지 않았지만 이 최적값은 분산보상 조건의 변화에 영향을 받지 않았다[5].

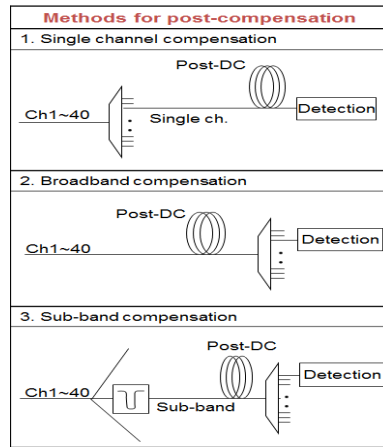


그림 3. 세 가지의 후치분산보상 방법 비교  
Fig. 3 comparison for three post dispersion compensation methods

후치분산보상 방법의 차이에 따른 성능 차이를 비교하고 분석하기 위해 세가지 종류를 비교하였다. 첫째는 구조는 제일 복잡하지만 좋은 신호 성능을 위한 방법으로 각 채널 별로 독립적인 분산보상 광섬유를 사용하는 것이다. 둘째는 구조적으로 단순하여 많이 사용되는 방법으로 전 40 채널을 동일한 한 분산보상 광섬유를 적용시키는 것이다. 세 번째는 본 논문에서 제안된 방법으로 40 채널을 8 채널 씩 묶어 그룹을 짓게 하고 각 그룹 별로 하나의 단일 분산보상 광섬유를 사용하는 것 방법이다. 이 세가지 방법에 대한 개략적인 구조가 그림 3에 정리되어 있다. 이 세가지 후치분산방법의 차이

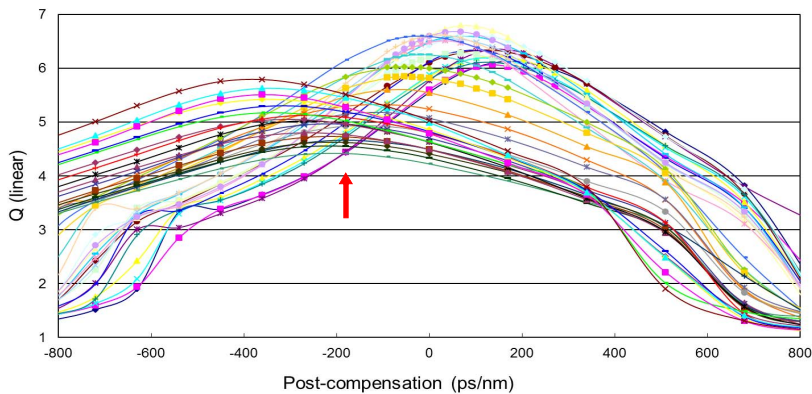


그림 4. 40 채널 파장다중화 광신호의 채널별 후치분산 보상 최적화  
Fig. 4 post dispersion compensation of each optical channel for 3000km transmission of 40 WDM channels

를 확인하기 위해 이 방법들이 적용된 신호 성능을 측정하였다.

후치분산보상을 위해 그림 3에 제시된 방법 중 먼저, 첫 번째 방법을 사용하여 신호 성능을 측정하였다. 40 채널들이 3000 km를 지난 후 파장분할 역다중화기로 개별 광신호를 분리하였다. 그 다음 각 광신호 별로 후치분산보상을 변화시키면서 신호 성능의 변화를 측정하였다. 실험에서는 플러스의 분산값을 위해서는 SSMF 사용하였고 SSMF 길이의 변화로 분산 값을 조정하였다. 마이너스의 분산값을 위해서는 DCF가 사용되고 역시 DCF 길이 변화로 분산 값을 조정하였다. 모두 40 채널에 대해서 동일한 방법을 적용하여 얻어진 결과가 모두 함께 그림 4에 주어지고 있다. 40개의 개별 곡선은 개별 채널들의 신호성능이 후치분산 값의 변화에 따라 어떻게 달라지는지를 보여주고 있다. 여기서, 수평축에서 오른쪽 방향은 SSMF, 왼쪽 방향은 DCF가 후치분산을 위해 사용되었음을 의미한다. 최적 후치분산값을 찾기 위해 SSMF는 최소 2 km 씩, DCF는 최소 200 m 씩 증가시키면서 신호 성능의 변화를 측정하였다. 파장다중화 채널에 따라서 후치분산 최적조건이 상당히 다른 것을 알 수 있으며 이 조건의 변화에 따른 신호 성능도 큰 차이가 있음을 알 수 있다. 후치보상된 채널 성능 중 최고의 값은  $Q = 6.79$ 로 12번 채널에 4 km의 SSMF가 사용되었을 때고, 최저 값은  $Q = 4.41$ 로 26번 채널에서 2 km의 DCF가 사용되었을 때였다.

두 번째의 후치분산보상 방법은 전 40 채널에 단 하나의 분산보상 광섬유를 적용시키는 방법으로, 이 경우는 따로 계산할 필요 없이 그림 4의 결과를 통해서 알 수 있다. 복수 개의 채널을 한 개의 보상 광섬유로 동시에 보상할 때의 기준은 분산 보상이 적용되었을 때 채널들의 최저 성능 값이 가장 높아지는 보상 값을 찾는 것이다. 이는 다채널 통신에서 최저 성능 채널이 통신 선로의 설계나 특성 평가의 기준값이 되기 때문이다. 이 기준을 그림 4에 적용시켜 얻은 최적점이 그림에서 붉은 화살표로 표시되어 있으며 이는 DCF를 2 km 사용하는 경우이다. 이 때 최저성능의 채널 값은 26번이고  $Q = 4.41$ 이고 최고성능 값은 채널 17번이며  $Q = 6.1$ 이다.

마지막 비교 방법은 본 논문에서 제안하는 후치분산 보상 방식으로 8 채널씩 그룹별로 묶어 분산보상을 실시하였다. 40 채널들이 3000 km를 지난 후 필터를 통해 8 채널씩 묶여서 분리되고, 분리된 광신호채널 그룹 별

로 후치분산보상 된 경우가 계산되었고 그 최적화 과정을 그림 5가 보여주고 있다. 그림 5는 (a)부터 (e)까지 모두 5개의 그래프가 포함되어 있고 각 그래프에는 모두 8개의 곡선들을 포함하고 있어서 이 각각의 곡선들을 통해 후치분산보상 값의 변화에 따른 신호 성능의 변화를 얻을 수 있다. 그래프들에서 수평축의 의미는 그림 4와 같이 플러스 값은 SSMF가, 마이너스 값은 DCF가 후치분산 최적화를 위해 사용되었음을 의미한다.

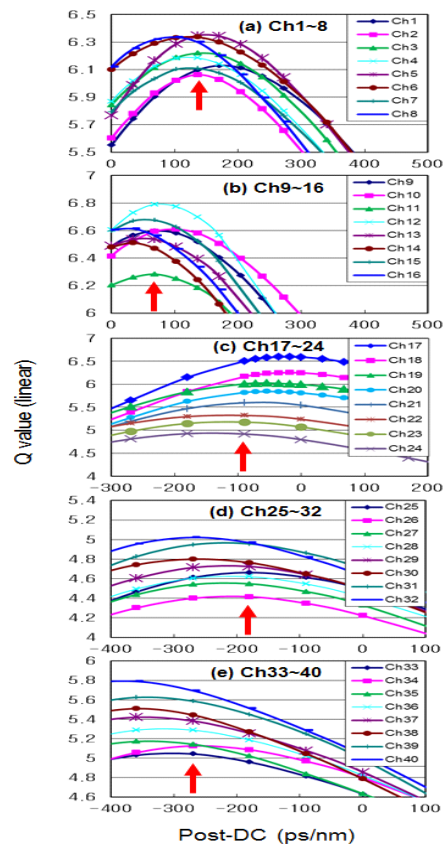


그림 5. 8채널씩 그룹별로 후치분산보상된 신호 성능들의 변화  
 Fig. 5 Post-dispersion compensation by groups of eight channels

(a)에서 1번부터 8번 채널까지 후치분산보상 값에 따라 신호의 성능의 차이가 있지만 여덟 채널들에 공통으로 사용되는 하나의 후치분산보상을 고려해야 한다면 기준은 최저 성능 채널이 최대 성능 값을 갖도록 해야 할 것이다. 따라서 성능이 가장 나쁜 채널인 2번

을 위한 최적조건은 8 km의 SSMF가 요구된다. 이 조건이 그래프에서 붉은 화살표로 그 위치가 표현되었다. 이 경우 최고 성능 채널은 12번 채널이고  $Q = 6.34$ 이며, 최저 값은 2번 채널에서  $Q = 6.06$ 를 가졌다. 이 같이 그룹별 최적화를 위한 조건을 선택할 수 있으며 같은 방식으로 선택된 후치분산최적화를 위한 분산값 최적값의 위치가 그림 5의 각 그래프에서 역시 붉은 색 화살표로 표시되어 있다. 이 결과들이 표 1에 정리되어 있다. 그래프 (b)의 최소 성능 채널은 11번이며 SSMF 4 km가 요구되며, 그래프 (c)의 최소 성능 채널은 24번으로 DCF 1km, 그래프 (d)의 최소 성능 채널은 26번으로 DCF 2km, 그리고 마지막으로 그래프 (e)의 최소 성능 채널은 33번이고 DCF 3 km 가 최적 길이로 요구됨을 알 수 있다.

표 1. 세가지 후치분산보상 방법에 따른 신호성능의 변화비교  
Table. 1 Comparison of Q value variations according three post-dispersion compensation methods

		Q (linear)		Post-DC
Broadband		Worst	4.41 (ch26)	DCF 2km
		best	6.1 (ch17)	
Sub-broad band	Band1 (ch1~8)	Worst	6.06 (ch2)	SMF 8km
		best	6.34 (ch5)	
	Band2 (ch8~16)	Worst	6.28 (ch11)	SMF 4km
		best	6.79 (ch12)	
	Band3 (ch17~24)	Worst	5.17 (ch23)	DCF 1km
		best	6.5 (ch17)	
	Band4 (ch25~32)	Worst	4.41 (ch26)	DCF 2km
		best	4.97 (ch32)	
	Band5 (ch33~40)	Worst	5.04 (ch33)	DCF 3km
		best	5.69 (ch40)	
Single channel		Worst	4.41 (ch26)	DCF 2km
		best	6.79 (ch12)	SMF 4km

표 1에는 채널 그룹별 후치분산보상 방식 뿐만 아니라 앞서의 두 방식의 결과들도 함께 정리되어 있다. 비교해 보면 40채널 가운데 최저 성능 값은 세가지 모두 동일하게  $Q=4.41$  이었다. 최고 성능값은 채널별 보상한 경우는 6.79, 그룹별 보상한 경우는 6.79, 전 채널을 하나의 분산값으로 보상한 경우는 6.1 이었다. 따라서 최저성능 채널을 기준으로 보면 세가지 방법이 차이가 없으며 최고성능 채널을 기준으로 보면 성능 값의 희생 없이도 그룹별 보상으로 채널별로 보상 방법을 대체 가능하므로 후치분산 보상을 단순화 할 수 있음을 알 수 있다.

#### IV. 결 론

40 채널의 파장 다중화된 광신호를 3000 km 까지 전송하면서 후치분산보상 방법의 차이에 따른 성능 변화를 조사하였다. 개별 광신호는 10 Gbps 대역폭의 RZ 신호포맷을 사용하였고 40 채널들의 파장은 1533.5 nm에서 1564.7 nm 사이에 100 GHz 의 주파수 간격을 가졌다. 링크구간은 전송선으로 SSMF 가 사용되고 분산보상은 전치분산보상은 적용하지 않았고 링크구간 보상은 DCF로 완전보상 하였다. 후치분산 보상을 위해 40 개의 개별 채널 별로 후치분산을 최적화하는 경우, 8개씩 묶은 채널 그룹별로 최적화하는 경우 그리고 전 40 채널들을 하나의 분산 값으로 후치분산 보상하는 세가지 경우가 비교되었다. 최저 성능 채널과 그 성능 값은 세가지 방식에서 차이가 없었다. 최고 성능값은 전 채널을 하나의 후치분산 값으로 사용하는 경우가 다른 두가지 방식에 비해 성능에 떨어졌지만 그룹별 방식이나 개별 채널별 방식은 차이가 없었다. 따라서 채널 그룹별로 후치분산을 보상 방법은 개별 채널 별로 후치분산 보상 방법에 비해 신호 성능의 희생 없이 시스템을 부분적으로 단순화시킬 수 있음을 확인하였다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국학술연구재단의 연구비 지원 (2010-0007718)을 받았음

#### REFERENCES

[1] J. D. Downie, "High-Capacity Long-Haul Transmission using Ultra-Low Loss Optical Fiber," Opto-Electronics and Communications Conference (OECC 2012), 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, pp. 197 - 203, 2013.
- [4] 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
- [5] 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, 1998~1998년 삼성전자 근무  
2001년 8월 KAIST(ICU) 공학 박사, 2005~현재 동아대학교 부교수