

주 제

Optical CDMA 기반 차세대 광가입자망 기술

ETRI 김봉규, 박 혁, 김광준

차 례

I. 서 론

II. 광 CDMA 유형별 분류

III. 광 가입자망 적용을 위한 핵심기술

IV. 광 CDMA 기술 개발 동향

V. 결 론

I. 서 론

최근의 인터넷은 고화질 주문형 영상, 고속 데이터, 음성 등의 대용량 멀티미디어 서비스가 요구되고 있을 뿐만 아니라 사용자의 수가 급증하고 있어 보다 많은 정보를 보다 많은 가입자에게 전송하기 위한 기술을 필요로 한다. 이를 위하여 도입된 광 가입자망은 기존의 전자식 기술이 갖는 속도의 한계를 극복하고 폭발적으로 증대하는 인터넷 트래픽을 빛의 속도로 경제적인 방법으로 처리할 수 있는 통신시스템이다. 광 신호를 전달하는 매개체인 광섬유를 많은 가입자들이 공유함으로써 가입자 망의 비용을 절감하는 다중 접속(multiple access) 기술이 광 가입자망의 중요한 기술이다.

광 가입자망을 위한 다중 액세스 기술에는 부호분할 다중접속(CDMA : Code Division Multiple Access) 기술, 시간분할 다중접속(TDMA : Time Division Multiple Access) 기술, 파장분할 다중 접

속(WDMA : Wavelength Division Multiple Access) 기술이 있다. 부호분할 다중접속 기술을 광 가입자망 적용하는 연구는 최근 국내에서 시도되고 있는 기술로 아직 기초연구 단계이다[1,2]. 그리고, 시간분할 다중접속 기술을 이용한 광 가입자망 기술에는 APON(ATM passive optical network), EPON(ethernet PON), GPON(gigabit PON) 등이 있다. 현재 일본과 유럽에서 EPON과 GPON을 이용한 광 가입자 망 서비스가 운영되고 있으며[3,4], 국내에서는 EPON 기반의 광 가입자망 시범망 구축이 진행되고 있다[5]. 파장분할 다중접속 기술에는 WDM-PON (Wavelength division multiplexing PON) 기술을 기반으로 광 가입자망 기술이 있으며 국내 업체들을 주축으로 상용화 연구가 진행되고 있다[6,7,8].

시간분할 다중접속 기술은 가입자 별로 시간을 할당하는 방식으로, 가입자에서 중앙 집중국으로 전송되는 상향신호의 경우 임의의 가입자에서 송신하고

있을 때 다른 가입자들의 송신기는 작동하지 않도록 하여 신호들 사이에 충돌이 일어나지 않게 하고, 중앙 집중국에서 가입자로 보내는 하향신호의 경우 모든 가입자에게 신호를 보낸 후 가입자에 할당된 임의의 시간에 전송된 신호만 검출하는 방식이다. 이 방식은 중앙 집중국에 여러 개의 송, 수신기를 필요로 하는 다른 다중접속 방식과 달리 중앙 집중국에 하나의 송, 수신기가 사용되기 때문에 매우 경제적인 방식중의 하나이다. 하지만, 중앙 집중국과 가입자 사이의 거리 및 손실 차이에서 발생하는 영향을 줄이는 기술(ranging 기능, burst mode 송수신 기능 등)이 필요하고[9], 가입자의 수가 증가함에 따라 전송되는 신호의 변조 속도도 그에 비례하여 증가되어 고속의 데이터를 서비스하기 힘든 단점을 지니고 있다.[10]

과장분할 다중접속(주파수분할 다중접속으로 불리어 지기도 함.) 기술은 가입자 별로 임의의 협대역(narrow bandwidth) 과장영역을 할당함으로써 각각 가입자의 신호 사이에 간섭이 일어나지 않도록 하여 여러 가입자들이 시간의 구에 없이 하나의 광전송로를 공유하는 방식이다. 이 방식은 가입자의 수가 데이터 속도에 거의 영향을 미치지 않기 때문에 고속의 데이터를 서비스 할 수 있다는 장점을 지니고 있다.

하지만, 가입자 별로 과장을 할당하는 다중화기/역다중화기(multiplexer/demultiplexer)와 광 송신기의 출력과장이 일치하지 않는 경우 매우 높은 전송 손실이 발생하여 심각한 전송장애가 일어난다. 따라서 온도변화에 무관하게 광 송신기의 과장이 할당 과장영역 범위 내에 있도록 하는 과장안정화 기술과 광 송신기의 장애를 대비하여 각 가입자 별로 서로 다른 광원을 준비하여야하는 inventory 문제[11]를 해결하는 기술이 필요한 단점을 지닌다. 특히, 중앙 집중국에 하나의 광 송, 수신기를 사용하는 시간 분할 다중접속방식과 달리 가입자의 수에 해당하는 수만큼

광 송, 수신기가 사용되기 때문에 광 송신기를 구성하는 광원의 비용이 광 가입자망의 비용에 중요한 요소로 작용될 수 있다. 이 방식은 시스템의 비용보다 성능이 우선시 되는 기간망에 적합한 방식으로 이미 상용화되어 서비스되고 있으며, 시스템의 성능보다 비용이 큰 비중을 차지하는 광 가입자 망을 위하여 광원의 저가화 방안의 연구가 활발히 진행되고 있는 방식이다.

부호분할 다중접속 기술은 가입자 별로 임의의 부호를 할당하여 다른 가입자와 구별함으로써 여러 가입자가 하나의 광전송로를 동시에 공유하는 다중접속 방식이다. 이 방식은 부호화를 위한 과정이 추가로 사용되기 때문에 시간분할 다중접속 방식과 과장분할 다중접속 방식에 비하여 다소 복잡한 구조를 지닌다. 또한, 서로 다른 가입자들이 동일 과장영역 또는 동일 시간영역을 공유하기 때문에 가입자 사이의 간섭(MAI: multiple access interference)이 다른 다중접속 기술에 비하여 크다는 단점을 지니고 있다. 하지만 무선 통신의 경우 여러 경로를 통하여 전송된 신호 사이에서 발생하는 간섭의 영향을 제거할 수 있고, 수용 가능한 가입자(potential access, 동시 사용 가능한 가입자와 구별됨.)의 수가 매우 큰 장점을 지니고 있어서 이동통신 서비스에 매우 유용하게 사용되고 있다[12].

이를 광통신에 적용한 통신방식이 광 부호분할 다중접속(광 CDMA)이며, 수용 가능한 가입자의 수가 많고, 시간분할 다중접속 방식에 비하여 데이터의 속도에 제약이 적으며, 과장분할 다중접속 방식에 비하여 광원의 대한 제약이 적은 특징을 지닌다. 또한, 사용하는 부호의 종류, 부호화/역부호화에 사용되는 소자의 종류, 시스템의 응용 목적 등에 따라 매우 다양한 구조 및 특성을 지니고 있다. 따라서 향후 다양한 기능과 복잡한 구조로 진화될 광 가입자망 및 광 통신망으로의 적용을 위한 다양한 형태의 광 CDMA

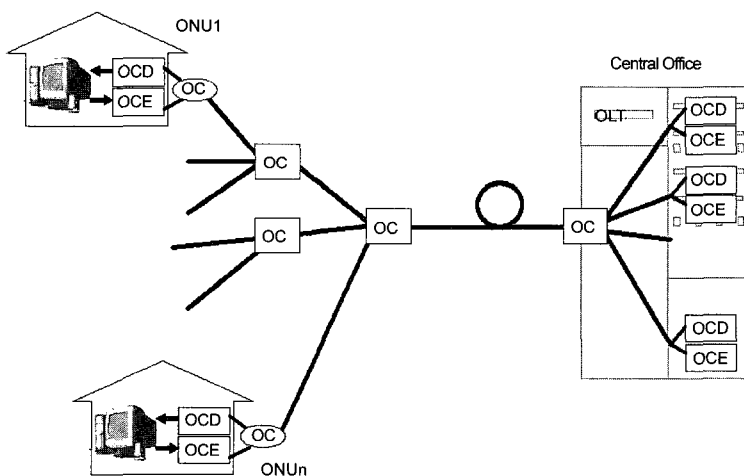
방식에 대한 연구가 진행되고 있다. (그림 1)은 광 CDMA를 이용한 광 가입자 망에 적용한 구조의 한 예를 나타낸 그림으로 다른 다중접속 방식에 비하여 네트워크의 구조가 상대적으로 자유로운 특징을 지닌다. 본 논문에서는 광 CDMA의 다양한 유형 및 유형별 특성, 광 가입자망을 위한 광 CDMA의 핵심기술, 광 CDMA 기술의 개발 동향 등에 대하여 살펴보았다.

II. 광 CDMA 유형별 분류

광 CDMA 방식은 광 신호의 변조를 이용하여 가입자별로 부호를 할당하는 기술이다. 광 신호의 변조 방식을 차원의 측면에서 보면 시간 축에서 부호화하는 방식[13,14], 파장 축에서 부호화하는 방식[15,16], 시간/파장을 동시에 사용하여 부호화 하는 2차원 방식[17], 그리고 시간/파장/공간의 차원을 동시에 사

용하여 부호화하는 3차원 방식[18]으로 분류를 할 수 있다. 한편, 변조할 물리량의 기준으로 진폭변조, 위상변조, 편광변조 등으로 분류할 수 있으며, 수신측 면에서 보면 단극성 데이터[14-18], 양극성 데이터 [13,19] 등으로 분류할 수 있다. 또한, 부호화를 위하여 이들의 조합을 사용할 수 있기 때문에 (그림 2)와 같이 수십 가지 이상의 다양한 형태로 분류도 가능하다[20]. 각각의 분류 형태에 따라 특성이 상이하기 때문에 적용 가능한 통신망의 종류도 기간망, 가입자망, 라우터 등으로 매우 다양한 분야에 활용이 가능하다.

본 논문에서는 광 가입자망에 적용을 고려하여 광 CDMA의 유형별로 특성을 분석하였으며, 다양한 형태의 분류를 간단하기 위하여 1차원 시간영역 광 CDMA 방식, 1차원 파장영역 광 CDMA 방식, 2차원 시간/파장영역 광 CDMA로 분류하였다. 여기서, 위상변조를 이용한 방식[16]은 시스템의 성능이 우수하나 시스템의 구조가 복잡하기 때문에 광 가입자망에



(그림 1) 광 CDMA를 이용한 광 가입자망 구조 예.

(ONU: optical network unit, OLT: optical line terminator, OC: optical coupler, OCE: OCDMA encoder, OCD: OCDMA decoder)

서는 진폭변조 방식이 위상변조 방식에 비하여 경제적인 측면에서 유리하다.

1. 1차원 시간영역 광 CDMA

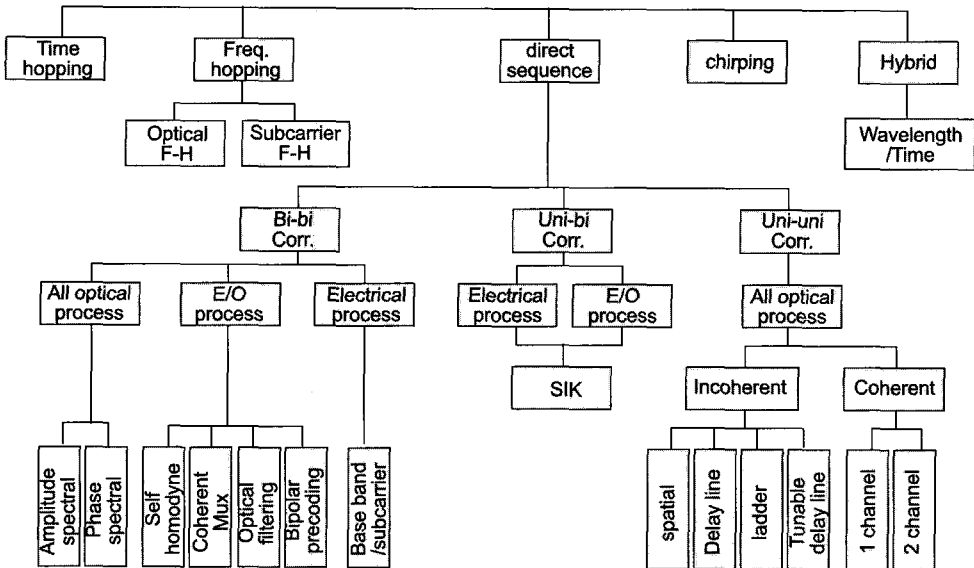
1차원 시간영역 광 CDMA란 시간 축 상에서 부호화하여 다중 접속하는 방법이다. 시간영역 광 CDMA는 무선통신에서 가장 보편적으로 사용하는 스펙트럼 확산 (spread spectrum) 방식과 유사한 방법으로 데이터 1 bit 전송시간동안 부호화한다. 이 방식에는 암호화하는 광 소자의 종류에 따라 광학적 시간 지연기(optical delay line)를 이용한 방법과 스위치를 이용한 방법이 있다.

1.1. 스위치 상관기를 이용한 광 CDMA

스위치를 이용한 1차원 광 CDMA 방식은 (그림 3)

의 (a)와 같은 구조를 가진다. 이 방법은 부호의 정보를 가진 전기신호를 스위치에 입력하는 방법으로 무선통신에서 이용되는 pseudo random noise (PN) 부호, Gold 부호, Kasami 부호 등을 수용할 수 있다. 이들 코드는 prime 코드보다 특성이 우수하며, 단극성/양극성으로 암호화할 수 있다[13].

이 방식은 가입자 수의 증가함에 따라 스위치의 속도로 비례하여 증가되어야 하는 단점을 지닌다. 음성과 같은 저속의 데이터를 서비스하는 무선통신과 달리 초고속의 데이터 서비스를 수용하는 광 가입자망에 적용하기 위하여 고속의 스위치가 사용되어야 하는 단점과 송, 수신 부호사이의 동기를 제어하는 동기추적 및 포착회로를 필요로 한다는 단점을 지니고 있다. 한편, 이 방식은 구조가 매우 간단하고, 동시 사용가능한 가입자의 수가 작지만 수용 가능한 가입자의 수가 많고, 스위치에 인가되는 부호를 쉽게 조



※ F-H: Frequency Hopping, Bi: Bipolar, Uni: Unipolar, E/O: Electro-Optic, SIK: Shift Inverse Keying, Corr.: Correlation

(그림 2) 광 CDMA 유형별 분류

절함으로써 채널 변화와 코드의 길이를 조절하기가 수월한 장점을 지니고 있다. 또한, 저속의 동기추적 및 포착회로는 무선통신에서 개발이 많이 되어져 있는 동기추적 및 포착회로와 스위치를 고속으로 작동 하면서 저가로 구현할 수 있다면 매우 간단한 형태로 광 가입자망에 적용될 수 있다. 또한, 부호 배분의 유연성으로 인하여 가입자의 다양한 서비스의 변화 욕 구에 대처하기에 매우 좋은 방식중의 하나이다.

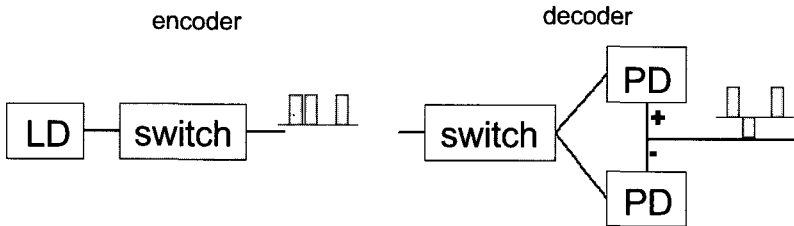
1.2. 광 시간 지연기를 이용한 광 CDMA

(그림 3)의 (b)는 광 시간 지연기를 이용한 시간영역 광 CDMA 방식을 나타낸다. 이 방식은 스위치를 이용한 시간영역 광 CDMA 방식과 달리 송 수신간의 동기가 필요 없을 뿐만 아니라 사용되는 광학 소자의 특성에 영향이 적기 때문에, 무선의 CDMA 기술을

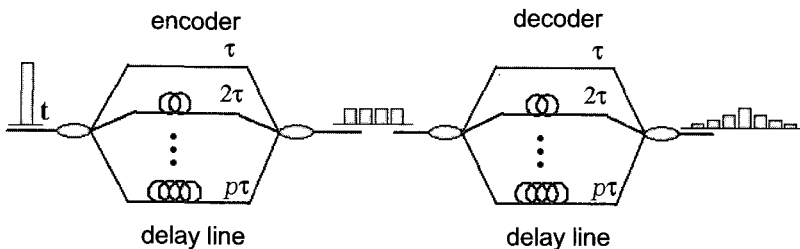
광기술로 적용하기 위한 초창기부터 연구되어진 기술이다.

그러나 광 파워의 가산에 의한 상관수신을 행하기 때문에 주로 단극성의 광학적 부호(예 prime code)가 사용되어 사용자 수에 비하여 부호 길이(일반적으로 사용자 수의 제곱의 길이 필요)가 매우 긴 부호가 필요하다. 또한, 암호화/역암호화 과정에서 광 손실이 크고, 부호의 배분에 유연성이 없으며, 소형화가 어렵고, 구축비용이 많이 든다는 단점이 있다. 또한, 고가의 초단펄스 레이저를 필요로 하는 단점을 지니고 있기 때문에 저 비용으로 많은 광 가입자 또는 큰 전송용량을 필요로 하는 광 가입자망에 적용하기 어려운 방식이다.

2. 1차원 파장영역 광 CDMA



(a) 스위치형



(b) 광 시간 지연기형

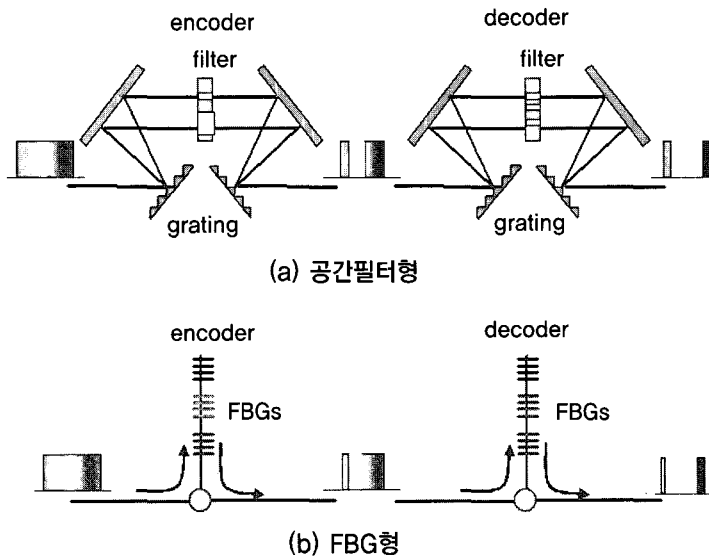
(그림 3) 1 차원 시간영역 광 CDMA(LD; laser diode, PD; photodiode)

1차원 파장영역 광 CDMA는 시간 축이 아닌 파장 축에서 부호화하여 다중 접속하는 방식이다. 데이터 정보를 지닌 광 신호를 회절격자나 파장필터를 사용하여 협대역의 파장영역으로 분할하고, 분할된 파장영역 단위로 광 신호를 변조하여 부호화하는 방식이다. 데이터 정보의 인가는 시간축 상에서 이루어지는데 반하여 부호화 과정은 파장축 상에서 이루어지므로 데이터 속도는 부호화에 의한 영향을 거의 받지 않으며 고속의 데이터를 서비스 할 수 있다. 또한 송, 수신간의 특별한 동기장치가 필요하지 않으며, Hadamard 부호, Walsh 부호[21], 변형된 PN부호[19] 등과 같이 가입자간의 부호에 의한 간섭이 없는 부호를 사용할 수 있는 장점을 지닌다.

이 방식은 파장영역을 분할하여 암호화하기 때문에 넓은 선폭의 백색 광원을 필요로 한다. 넓은 선폭의 광원으로는 light emitting diode (LED), super

luminescence diode (SLD), erbium doped fiber amplifier (EDFA) 등의 열잡음 광원이 사용되며, 이러한 광원은 레이저 광원의 잡음특성에 비하여 excess intensity noise(EIN)의 추가 잡음이 발생된다[22]. 열잡음의 광원으로부터 송신된 좁은 선폭 및 고출력의 광 신호가 수신기에 입사되는 경우 EIN의 크기는 매우 커서 시스템에 매우 나쁜 영향을 미친다. 광 CDMA와 같이 많은 가입자에서 송신된 신호가 동시에 수신 단에 입력되는 경우 가입자의 수가 증가함에 따라 수신 단에 입사되는 광의 세기가 커지기 때문에 EIN의 영향을 무시할 수 없다. 따라서 열광원을 이용하는 1차원 파장영역 광 CDMA를 이용한 광 가입자망은 EIN에 의하여 동시 사용가능한 가입자의 수가 제한되는 단점이 있다.

만약, EIN의 영향을 효과적으로 줄일 수 있다면 현재의 기술단계에서 광 가입자망에 적용하기에 가장



(그림 4) 1차원 파장영역 광 CDMA.
(FBG: fiber Bragg grating)

적합한 방식중의 하나이다.

광 신호를 파장단위로 분할하는 광소자의 종류에 따라 공간필터를 이용한 방법과 광섬유 회절격자(FBG: fiber Bragg grating)를 이용한 방법, 도파로형 격자 어레이(AWG: arrayed waveguide grating)를 이용한 방법이 있다. 이중에서 광섬유 회절격자를 이용한 방법은 소형, 저가로 구현이 가능하므로 광 가입자 망에 응용될 가능성이 높다.

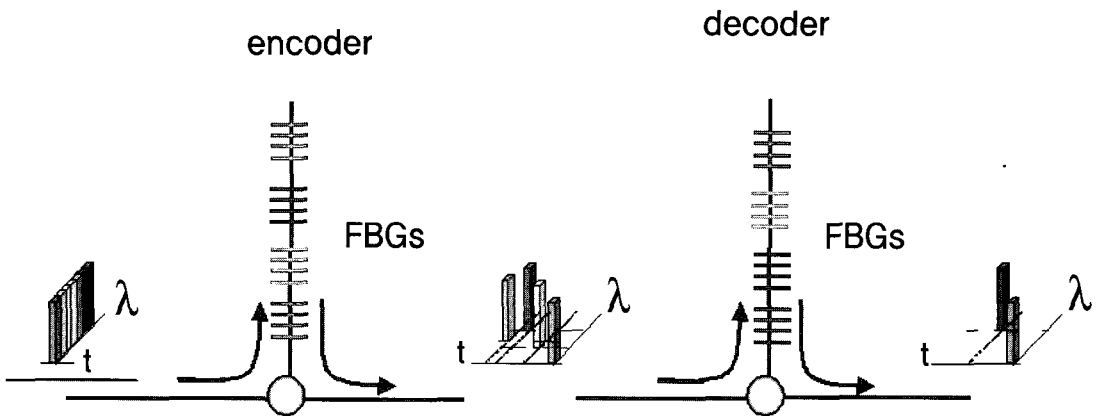
3. 2차원 광 CDMA

2차원 시간/파장 영역 광 CDMA는 시간과 파장을 동시에 사용하여 부호화하는 방식이다. 따라서 1차원 시간영역 광 CDMA와 1차원 파장영역 광 CDMA의 특성을 두루 지니고 있다. 시간과 파장의 조합을

이용하여 부호화하기 때문에 다양한 부호를 생성할 수 있으며 다른 방식에 비하여 수용 가능한 가입자의 수가 월등히 많은 장점을 지니고 있다. 또한, EIN의 영향을 많이 받는 1차원 파장영역과 달리 다른 채널에서 송신된 신호는 시간축 상에 확산시킬 수 있기 때문에 EIN의 영향을 상당히 줄이는 것이 가능하다.

그러나 많은 가입자를 수용하기 위하여 극초단 펄스와 같은 고가의 광원이 요구된다. 또한 시간축으로 암호화를 위하여 FBG 및 AWG와 같은 필터의 위치를 정교하게 조절하여야 하는 등의 단점이 있다. 아직까지 이 방식의 광 가입자 망 적용가능성은 다른 방식에 비하여 다소 낮은 편이다.

〈표 1〉은 광 CDMA의 특성을 유형별로 비교하여 나타낸 표이다. 동시 사용가능한 가입자의 수가 상대적으로 작지만 경제성이 우수한 스위치형 1차원 시



(그림 5) 2 차원 시간/파장영역 광 CDMA.

〈표 1〉 광 CDMA 유형별 특성(1D : 1차원, 2D : 2차원, OBI : optical beat interference, EIN:excess intensity noise)

Domain	Source	Structure	Data rate	Channel Number	Remark	Cost
1D time (Delay line)	Short pulse	Complex	Low	Low	High Loss	High
1D time (switch)	-	Simple	Low	Low	High OBI	Low
1D wavelength(공간필터)	Broadband	Complex	High	Medium	MAI Free, High EIN	High
1D wavelength(FBG)	Broadband	Medium	High	Medium	MAI Free, High EIN	Low
2D	Short pulse	Medium	Middle	High	-	High

간영역 광 CDMA 방식과 FBG/AWG형 1차원 파장 영역 광 CDMA 방식이 광 가입자망에 적용 가능성이 높은 방식이다.

III. 광 가입자망 적용을 위한 핵심기술

광 CDMA의 방식에는 매우 다양한 유형이 있으며, 그 유형에 따라 매우 다양한 특성을 지닌다. 또한 다양한 유형에 따라 필요한 핵심기술도 다양하다. 본 절에서는 광 가입자 망에 적용 가능성이 높은 스위치형 1차원 시간영역 광 CDMA 방식과 1차원 파장영역 광 CDMA 방식에서 요구되는 핵심기술을 살펴보고자 한다.

광 CDMA를 이용한 광 가입자 망의 성능을 좌우하는 특성에는 수용 가능한 가입자의 수, 동시 사용 가입자 수, 데이터 속도, 전송거리 등이 있다. 이들의 특성을 향상시키기 위한 핵심기술에는 적용망 또는 유형에 적합한 부호기술, 다른 채널 또는 가입자로부터 발생되는 원하지 않는 간섭(MAI) 제어기술, 넓은 선폭에서 발생하는 큰 분산을 보상하는 기술, 열잡음 광원에서 발생하는 EIN 감소 기술, 시스템 구성에 필요한 광소자 기술 등이 있다.

1. 부호 설계 기술/MAI 감소 기술

부호 설계에 있어서 가장 중요한 것은 다른 사용자로부터 송신된 신호와 원하는 사용자로부터 송신된 신호의 간섭(MAI)을 최소화하여 동시 사용자의 수를 늘이는 것이다. MAI를 최소화하는 부호의 종류는 광 CDMA 유형에 따라 각기 다르다. 동시 사용자의 수를 증가시키는 것과 더불어 수용 가능한 사용자의 수를 증가시키는 기술도 부호설계의 중요한 핵심기술이다. 대부분의 광 가입자 망의 통신 트래픽 비율은

크지 않기 때문에 수용 가능한 가입자의 수를 최대한 많이 확보할수록 광 전송로를 공유하는 가입자의 수가 증가된다. 따라서 시스템의 설치비용을 많이 차지하는 광 전송로의 비용을 절감할 수 있어 서비스 비용을 절감할 수 있다.

1.1. PN 부호

PN 부호는 무작위의 잡음 특성과 비슷한 심벌의 배열이지만 일정한 규칙을 갖는 특징을 지니는 부호이며 무선통신용 CDMA의 부호로 매우 유용하게 사용되고 있다. 무선통신의 CDMA 방식과 거의 흡사한 형태의 스위치형 1차원 광 CDMA 방식에 적합한 부호이며, PN 부호의 종류에는 Maximal 부호, Gold 부호, Kasami 부호 등이 있다[21].

(그림 6)은 길이가 7인 Maximal PN 부호의 예를 나타낸 그림이다. '1'의 개수가 '0'의 개수보다 한 개가 많은 특징을 지닌다. 또한 동일 계열의 부호끼리 모듈러 연산하면 동일 계열의 부호가 되고, 하나씩 shift된 하면 동일계열의 부호가 되는 특징이 있다.

만약, 1차원 시간영역 광 CDMA 방식에서 동일 계열의 부호를 가입자에게 할당을 하면 시간지연에 의하여 다른 채널로 인식이 되거나 채널간의 간섭이 매우 커서 전송에 영향을 줄 수 있다. 따라서 동일계열의 부호를 사용하기 위하여 채널간의 동기를 맞추어야 할 필요가 있다. 이에 반하여 다른 계열의 부호를 사용하는 경우 다른 부호간의 상관특성은 동일한 특성을 지니고 있어서 채널간의 동기를 맞추어 줄 필요가 없다. 따라서 비동기식 CDMA에서 서로 다른 계열의 Maximal PN 부호가 주로 사용되며, 스위치형 1차원 시간영역 광 CDMA 방식에서 우수한 특성을 나타낸다.

Gold 부호는 보다 많은 가입자를 확보하기 위하여 Maximal PN 부호 중에서 상관(correlation) 특성이

우수한 부호를 선별한 부호로써 Maximal PN 부호의 계열 수보다 많은 수의 계열을 지닌다. 이를 스위치형 1차원 시간영역 광 CDMA에 적용하면 동시 사용자의 수와 수용 가능한 사용자의 수가 증가되는 특성을 나타낸다[13].

데이터 신호의 부호화가 시간영역이 아닌 파장영역에서 이루어진다면 동일계열의 Maximal 부호인 경우에도 다른 부호(또는 다른 가입자)로 인식할 가능성이 희박하다. 따라서 1차원 파장영역 광 CDMA 방식에서는 별도의 채널간의 동기장치를 사용하지 않고 동일계열의 Maximal PN 부호를 이용할 수 있다. 단극성 데이터를 수신하는 광 CDMA에서 Maximal PN 부호를 사용하면 광원의 출력 파장 스펙트럼이 균일한 이상적인 조건에서 MAI가 발생하지 않는다.[23]

1.2. Modified PN 부호, Hadamard 부호

한편, 양극성 데이터를 수신하는 시스템은 단극성의 데이터를 수신하는 시스템보다 우수한 전송 성능을 지닌다. 양극성 데이터 수신은 데이터 값이 '1' 인 경우 특정부호로 암호화하고 데이터 값이 '0' 인 경우 특정부호의 상보부호(complementary code)로 암호화하는 SIK (shift inverse keying)을 이용하여 얻

을 수 있다. 이 경우 수신 단에서 6dB의 power penalty가 개선된다.

만약, Maximal PN 부호를 양극성 데이터 수신하는 1차원 파장영역 광 CDMA 방식에 적용하면 MAI가 발생되어 동시 사용자의 수를 제한된다. 여기서, MAI의 발생원인은 Maximal PN 부호의 '1' 과 '0' 의 심벌의 갯수가 차이가 나기 때문에 발생한다. 따라서 '1' 과 '0' 의 심벌의 갯수를 일치시킬 수 있으면 MAI의 제거가 가능하다. 이를 위하여 Maximal PN 부호에 임의의 동일한 위치에 stuff bit를 추가함으로써 생성된 부호가 modified PN 부호이며, 이를 이용하면 MAI를 완전히 제거하는 것이 가능하다[19]. 그림 7은 modified PN 부호, 상보부호, 그리고 데이터 값에 따른 암호화된 부호 형태를 나타낸 그림이다. 양극성 데이터 1차원 파장영역 광 CDMA에서 MAI가 없는 부호로는 modified PN부호 외에 Hadamard 부호, Walsh 부호 등이 있다.

2. 잡음 감소 기술

광 CDMA 시스템에서 잡음은 광원, 광 증폭기, 광 수신기에서 발생이 된다. 광원에서 발생하는 잡음은 relative intensity noise (RIN) 및 광원의 shot

	계열 1							계열 2							
C ₁₀	1	1	1	0	0	1	0	C ₂₀	1	1	1	0	1	0	0
C ₁₁	0	1	1	1	0	0	1	C ₂₁	0	1	1	1	0	1	0
C ₁₂	1	0	1	1	1	0	0	C ₂₂	0	0	1	1	1	0	1
C ₁₃	0	1	0	1	1	1	0	C ₂₃	1	0	0	1	1	1	0
C ₁₄	0	0	1	0	1	1	1	C ₂₄	0	1	0	0	1	1	1
C ₁₅	1	0	0	1	0	1	1	C ₂₅	1	0	1	0	0	1	1
C ₁₆	1	1	0	0	1	0	1	C ₂₆	1	1	0	1	0	0	1

(그림 6) Maximal PN 부호

User No.	Code	Complementary
0	1 1 1 0 0 1 0 0	0 0 0 1 1 0 1 1
1	0 1 1 1 0 0 1 0	1 0 0 0 1 1 0 1
2	1 0 1 1 1 0 0 0	0 1 0 0 0 1 1 1
3	0 1 0 1 1 1 0 0	1 0 1 0 0 0 1 1
4	0 0 1 0 1 1 1 0	1 1 0 1 0 0 0 1
5	1 0 0 1 0 1 1 0	0 1 1 0 1 0 0 1
6	1 1 0 0 1 0 1 0	0 0 1 1 0 1 0 1

← PN code
← stuff bit

data	Transmitted optical signal
1 : C ₀	1 1 1 0 0 1 0 0
0 : C ₁	1 0 0 0 1 1 0 1
0 : C ₂	0 1 0 0 0 1 1 1
1 : C ₃	0 1 0 1 1 1 0 0
1 : C ₄	0 0 1 0 1 1 1 0
0 : C ₅	0 1 1 0 1 0 0 1
1 : C ₆	1 1 0 0 1 0 1 0

(그림 7) Modified PN 부호 및 전송신호

noise가 있다. 증폭기 내에서 자연적으로 발광(spontaneous emission)하는 빛과 광 증폭기에 입력되는 빛이 존재하기 때문에, 광 증폭기에서 발생하는 잡음은 spontaneous 대 spontaneous 비트 잡음, spontaneous 대 신호 비트 잡음이 있고[24], 광 수신기에서는 열잡음과 shot noise이 발생된다. 한편, 넓은 선폭의 열 광원을 사용하는 광 CDMA 방식에서는 EIN 잡음이 추가로 발생된다.

2.1. 열잡음

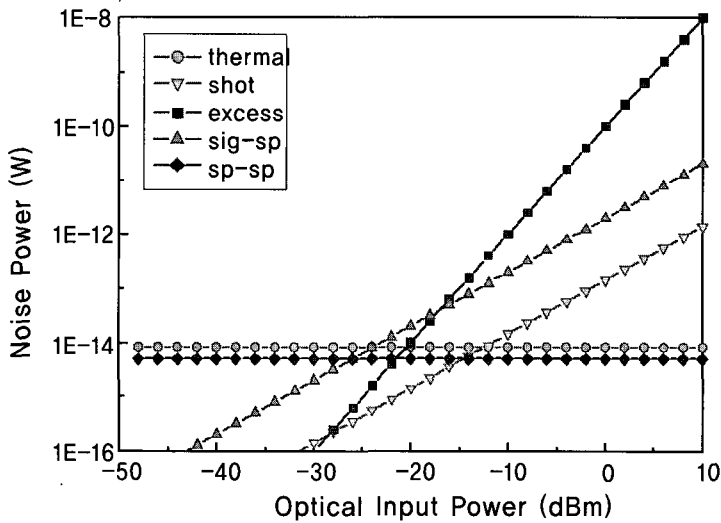
광 수신기의 흑체복사에 의하여 발생하는 열잡음의 크기는 수신기의 저항 값에 반비례한다. 따라서 수신기의 저항 값을 높이면 열잡음의 크기를 줄일 수

있다. 하지만, 저항 값이 증가함에 따라 수신기의 반응속도가 느려지게 되어 수신할 수 있는 데이터의 속도에 제약을 주게 된다. 데이터 속도에 영향을 주지 않는 범위 내에서 가능한 한 큰 저항으로 수신기를 설계할 필요가 있다.

2.2. 초과강도잡음(EIN)

레이저와 같은 단일모드 광원이 광 수신기로 입사되는 경우 광자가 전류신호로 바뀌면서 shot noise가 발생된다. 한편, 넓은 선폭의 열 광원(thermal light source)의 경우 shot noise 외에 추가적으로 잡음이 발생되고, 이를 초과강도잡음(EIN)이라 일컫는다. EIN의 크기는 광 출력의 제곱에 비례하기 때문에 열잡음과 shot noise와 달리 광 출력의 세기를 높임에 따라 신호 대 잡음 비(SNR : signal to noise ratio)가 개선이 되지 않는다[22].

(그림 8)은 광 수신기에 입사되는 빛의 세기에 따라 각각의 잡음 크기를 나타낸 그림이다. 광 수신기에 입력되는 광세기가 작은 경우 열잡음이 가장 크고, 입사 광세기가 큰 경우 EIN 잡음의 크기가 가장 크다. 1차원 시간영역 광 CDMA 방식과 2차원 파장/시간영역 광 CDMA 방식의 경우 다른 가입자에서 송신된 신호는 시간축 상에 확산된다. 따라서 원하는 가입자에서 송신된 신호가 수신기에 입사되는 시간 영역동안 다른 가입자로부터 송신된 광 신호는 광수신기로 거의 입사되지 않아 EIN의 영향을 거의 받지 않는다. 그러나 1차원 파장영역 광 CDMA는 원하는 가입자로부터 송신된 광 신호를 수신할 때 다른 가입자에서 전송되는 신호도 동시에 수신하기 때문에 광수신기에 입력되는 광세기가 커진다. 따라서 1차원 파장영역 광 CDMA 방식은 EIN의 영향을 많이 받게 되어 동시 사용 가능한 가입자의 수와 데이터 속도에 제약 생긴다. 1차원 파장영역 광 CDMA를 이용한 광



(그림 8) 수신단 입력 광세기에 따른 잡음크기.

(Load 저항 : 1k Ω , 데이터 속도 : 1Gbps, 광원의 파장선폭 : 8nm)

가입자망의 성능향상을 위하여 EIN 감소기술이 반드시 필요한 기술이다[25].

EIN 감소 기술로는 이득포화된 반도체 광 증폭기 (gain saturated semiconductor optical amplifier) 를 이용하는 방법[26], 다중 경로를 이용하는 방법 [27], feedforward 방식[28] 등이 제안되었지만, 아직까지 광 CDMA 시스템에 적용된 예는 없다.

3. 전송 거리

1차원 시간영역 광 CDMA를 제외한 광 CDMA 시스템은 넓은 선폭의 광원을 필요로 한다. 따라서 각각 파장마다 전송속도가 다른 분산 특성(dispersion)을 지닌 광섬유를 통과하면 신호의 왜곡이 발생한다. 특히 사용하는 광원의 파장선폭이 넓을수록 그리고 전송거리가 길수록 분산특성의 영향을 많이 받기 때문에 분산제어 기술은 광 CDMA 시스템의 전송거리

를 확보하는데 필요한 기술이다.

분산의 영향을 받지 않도록 하는 방법으로는 광섬유의 분산이 거의 존재하지 않는 영역인 1300 nm대의 파장을 갖는 광원을 사용하는 방법, 분산 보상기를 사용하는 방법, 영 분산 광섬유(dispersion shifted fiber)를 전송로로 사용하는 방법 등이 있다.

4. 광소자 기술

광 CDMA 기술이 광 가입자망에 응용되려면 저가/소형 광소자의 개발이 필요하다.

4.1. 광원

1차원 파장영역의 광원으로는 넓은 선폭의 광원이 필요하다. LED의 경우는 출력이 낮은 단점이 있으며, 고출력의 SLD 및 EDFA는 아직까지 비용이 높은 단점을 지닌다.

4.2. 광변조 장치

광변조 장치는 전기신호를 광신호로 변환하는 장치로서 직접변조 광원, 간섭계형 외부변조기, electro absorption modulator 등이 이용된다. 가장 경제적인 방식은 광원을 직접 변조하는 방식이지만 LED의 경우 변조 가능한 속도가 낮다.

1차원 파장영역 광 CDMA의 저가의 광변조 기술이 필요하며, 1차원 시간영역 광 CDMA는 저가의 초고속 광변조 기술을 필요로 한다.

4.3. 암호화/역암호화 필터

광 CDMA 방식 중 파장영역에서 암호화하는 방식은 여러 개의 파장필터가 사용된다. 따라서 가입자망에 적용을 위해서는 이의 소형화 및 저가화를 위한 기술을 필요로 한다.

4.4. 광 수신기

광 CDMA 방식에서 사용되는 가입자의 수가 적은 경우와 많은 경우 모두 수용하여야 하므로 광 수신기에 입력되는 광세기는 시간에 따라 매우 유동적이다.

따라서 광 수신기에 입력되는 빛의 세기가 작은 경우 뿐만 아니라 빛의 세기가 큰 경우에도 작동할 수 있는 넓은 dynamic range를 확보하여야 한다. 수신기의 dynamic range가 클수록 많은 가입자를 수용할 수 있게 된다.

IV. 광 CDMA 기술 개발 동향

전송의 새로운 형태인 대역확산(spread spectrum) 기술은 1950년대 중반에 개발되어 CDMA 기술의 시효가 되었다. 초기의 무선통신용 CDMA는 군사용으로 이용되다가 이동통신의 시장으로 확대되었다. 이 기술은 1970년대 후반에 광통신에 적용하기 위한 연구가 처음으로 시도된 이후 대학을 중심으로 다양한 형태의 광 CDMA 방식이 연구 개발되고 있다. 초기 연구개발 단계인 광 CDMA 기술은 무선통신용 CDMA의 초기 응용과 비슷한 경향으로 군사용 및 보용 시스템에 적용하려는 움직임이 있다.

〈표 2〉 해외 광 CDMA 기술 개발동향

	Type	Characteristics	Remark
OKI	2D	Encoder/decoder	2002년~
APN	2D	Programming mirror, 2D OCDMA+CWDM	2001 NFOEC
Commercial → Codestream	1D-W	Spatial filter, 622 MHz x 128ch	1996~
Templex/Oregon Univ.	-	FBG Filter for OCDMA	Device, 1995~
DARPA(5Teams, ~10 groups)	2D	Backbone, 10Gbps x 100 ch, (\$30 Million/4years)	2003 Open
NTT	1D-T	Optical delay line	
Osaka Univ.	1D-T	Optical Switch	
Southampton Univ.	1D-W	Coherent	
Tokyo Univ.	1D-W	Coherent	
Taiwan	1D-W	Unipolar	
Rice Univ.	1D-W	Bipolar	
UCLA	1D-W	Bipolar	
Purdue Univ.	2D/1D-W	Bipolar	
Corecom (Italy)	2D	FBG	
Melbourne Univ.	Coherent	MZI	
Alcatel	-	F-P & MZ filter, 8ch x 20km	

〈표 3〉 국내 광 CDMA 기술 개발동향

	Type	Characteristics	Remark
경희대	1D-T	Optical delay line	1999
국민대/솔리테크	1D-T	ECDMA, CDMA-PON	
서원대	1D-T	Optical Switch	
명지대	1D-T/2D	Optical delay line	
GIST	1D-T	Delay line	
서울대	2D	AWG, FBG	
중앙대	-	Thyristor for MAI reducing	
서강대	-	OCDMA Network	
한양대	2D		
KT	3D/2D	AWG, RS code	
KIST	2D	Chirped FBG	
ICU	2D	FBG, Polymer	
ETRI	1D/2D	Bipolar	

1. 국외 연구 개발 동향

해외의 경우 캐나다의 Oregon 대학과 미국의 UCLA에서 주도적으로 연구개발을 진행하였다. 특히, Oregon 대학의 연구개발 결과는 광 CDMA용 광학 필터를 생산하는 업체인 Templex사의 모태가 되었다[29]. 최근에는 미국에서 프린스턴대학, 텔코디아, UC-Davis, UCLA, USC의 5개 팀, 10여 그룹을 주축으로 10 Gbps 이상의 데이터 속도를 갖는 100 이상의 채널을 동시에 수용 가능한 2차원 파장/시간 영역 광 CDMA 시스템을 개발하는 사업을 위하여 DARPA(Defense Advanced Research Project Agency)로부터 4년간 3천만 불의 연구비를 지원받고 있으며[30], 또한 몇 개의 업체에서 군사용 시설에 응용하기 위한 준비를 하고 있다. 한편, 일본에서는 OKI사를 중심으로 광 통신망에 적용하기 위한 연구를 가장 활발히 하고 있으며,[31] 그 외 대학을 중심으로 기초연구가 진행되고 있다.

2. 국내 연구 개발 동향

국내의 경우 1990년대 후반부터 대학을 중심으로

광 CDMA 방식에 대한 연구가 진행되었지만, 아직까지 기초적인 연구수준이다. 최근 솔리테크에서 광 CDMA 방식을 광 가입자망에 적용하기 위하여 1차원 스위치형 방식인 CDMA-PON 시스템에 대한 연구가 발표되었고[1], ETRI에서는 초고속 광 가입자망에 적용을 위한 1차원 파장영역 광 CDMA 방식에 대한 연구가 진행되고 있으며[2, 13, 19], 점차 광 CDMA 기술에 대한 연구를 진행하는 곳이 늘어나는 경향이다.

광 CDMA 기술은 국외/국내 모두 초기에는 1차원 시간영역 방식, 1차원 파장영역 방식에 대한 연구가 진행되었고, 점차 수용 가능한 가입자의 수를 많이 확보하기 위한 2차원 파장/시간영역에 대한 연구를 진행하는 추세이다.

V. 결 론

광 CDMA 방식에는 특성이 서로 다른 다양한 방식이 있기 때문에 통신망의 종류에 따라 다양한 광 CDMA 방식이 적용될 수 있다. 또한, 다른 다중접속 방식에 비하여 다양한 형태의 네트워크의 구조를 구성할 수 있다. 미래의 통신망은 기간망뿐만 아니라

가입자망에서 다양한 서비스 요구, 보안성의 요구, 복잡한 구조 등을 수용할 수 있는 네트워크로 발전될 전망이다기 때문에, 매우 다양한 방식을 갖는 광 CDMA 기술은 미래의 광 통신망에 적용될 수 있을 것으로 전망된다.

한편, 현재까지 개발된 매우 다양한 광 CDMA 방식 중에서 광 가입자 망에 적용 가능성이 가장 높은 방식은 스위치형 1차원 시간영역 광 CDMA 방식과 FBG 또는 AWG를 이용한 1차원 파장영역 광 CDMA 방식이다. 스위치형 1차원 시간영역 광 CDMA 방식이 가입자망에 적용되기 위하여 저가/고속의 광변조기와 송, 수신기 부호의 동기제어를 위한 동기포착/추적 장치의 개발이 선행되어야 한다. 그리고, 1차원 파장영역 광 CDMA 방식이 광 가입자망에 적용되기 위하여 EIN 감소방안, 저가의 광원 및 광학 필터의 개발이 선행되어야 한다. 이들 핵심기술이 개발이 되면 보안성이 뛰어나고, 수용 가능한 가입자의 수가 크고, 유연한 네트워크 구조에 의한 무한한 응용 가능성을 지닌 광 CDMA 기술은 광 가입자 망에 적용될 가능성이 높을 것으로 전망된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 안병구, 박영일, 김종훈, “코드분할다중접속 방식 포인트투멀티포인트 수동형 광통신망”, 한국특허등록번호 10-0440220 (2004)
- [2] 김봉규, 연영희, 김병휘, 박상조, “초고속 광 가입자망 구축을 위한 PN 부호와 FBG를 이용한 광 CDMA의 특성분석”, *한국광학회지*, 제 13권 6호, p501 (2002)
- [3] http://www.donga.com/docs/magazine/shin/2005/01/25/200501250500002/200501250500002_3.html[3], “한·일 정보통신왕국 KT vs NTT”, *신동아* 통권548호, 2005년 5월호
- [4] 김용균, 김정환, “주요국 FTTH 서비스 전개 동향 및 시사점”, *IT Insight*, 2005년 5월
- [5] 송호영, “FTTH 기술개발 동향 및 정책”, 광인터네트워크샵2004 Session 7 (2004년 10월)
- [6] 이상목 외, “파장 잠김된 F-P LD를 이용한 파장분할 다중방식 수동형 광 가입자망 구현”, *Photonics Conference 2004, F2B5* (2004. 11)
- [7] 계용찬 외, “낮은 ASE injection power에서 동작하는 WDM-PON용 광 송신기”, *Photonics Conference 2004, T1A4* (2004. 11)
- [8] 이우람 외, “RSOA를 사용한 경제적인 WDM-PON의 새로운 구조연구”, *Photonics Conference 2004, T1B3* (2004. 11)
- [9] G. Eilenberger, et.al., “Optical solutions for the access network”, *Alcatel Telecommunications Review*, 3rd Quarter, p225 (1998)
- [10] A. Stok and E. H. Sargent, “Lighting the local area: optical code-division multiple access and quality of service provisioning”, *IEEE Network*, p42, Nov./Dec. (2000)
- [11] S. Dixit, *IP over WDM: Building the next-generation optical internet*, Hohn Wiley & Sons Inc., 2003, chapter 8, pp.234-236
- [12] 대한전자공학회, *CDMA 통신*, 청문각, pp1-12
- [13] 박상조, 김봉규, “광 스위치를 이용한 광 CDMA 방식에 의한 광 가입자 액세스 망의 제안”, *정보처리학회논문지C*, 제10-C권, 제3호, p317 (2003)
- [14] P. Prucnal, M. Santoro, and T. Fan, “Spread spectrum fiber optic local area network using optical processing”, *J. of Lightwave Tech.*, vol.4, no.5, p307 (1986)
- [15] D. Zaccarin and M. Kavehrad, “An optical

- CDMA system based on spectral encoding of LED”, *Photonics Tech. Lett.*, vol.4, no.4, p479 (1993)
- [16] P. C. Teh, M. Ibsen and D. J. Richardson, “Demonstration of a full-duplex bidirectional spectrally interleaved OCDMA/DWDM system”, *Photonics Tech. Lett.*, vol. 15, no. 3, p482 (2003)
- [17] L. R. Chen, “Flexible fiber Bragg grating encoder/decoder for hybrid wavelength-time optical CDMA”, *Photonics Tech. Lett.*, vol. 13, no. 11, p1233 (2001)
- [18] S. Kim, K. Yu, and N. Park, “A new family of space/wavelength/time spread three-dimensional optical code for OCDMA networks”, *J. of Lightwave Tech.*, vol.18, no.4, p502 (2000)
- [19] S. Park, B. K. Kim, and B. W. Kim, “An OCDMA scheme to reduce multiple access interference and enhance performance for optical subscriber access networks”, *ETRI Journal*, vol.26, no.1, p13 (2004)
- [20] N. Karafolas and D. Uttamchandani, “Optical fiber code division multiple access networks: A review”, *Optical Fiber Technology*, vol.2, p149 (1996)
- [21] 이상근, 방효창, *IMT-2000 CDMA 기술*, 도서출판 세화, pp.38-61
- [22] C. F. Lam, *Multi-wavelength optical code-division-multiple-access communication systems*, Ph.D. thesis, UCLA, 1999, pp38-47
- [23] J.-F. Huang and D.-Z. Hsu, “Fiber-grating-based optical CDMA spectral coding with nearly orthogonal M-sequence codes”, *Photonics Tech. Lett.*, vol.12, no. 9, p 1252 (2000)
- [24] N. A. Olsson, “Lightwave systems with optical amplifiers”, *J. of Lightwave Tech.*, vol.7, no.7, p1071 (1989)
- [25] 김봉규 외, “1차원 파장영역 광 CDMA 기술”, COOC2005 proceeding, T2D1 (2005)
- [26] S.-J. Kim, et.al, “Intensity noise suppression in spectrum-sliced incoherent light communication systems using a gain-saturated semiconductor optical amplifier”, *Photonics Tech. Lett.*, vol.11, no. 8, p1042 (1999)
- [27] B. G. Fidric, “Method and apparatus for reducing excess photon noise in short coherence light sources”, US Patent 5,978,528 (1999)
- [28] A. J. Keating and D. D. Sampson, “Reduction of excess intensity noise in spectrum-sliced incoherent light for WDM applications”, *J. of Lightwave Tech.*, vol. 15, no. 1, p53 (1997)
- [29] <http://www.lightreading.com> “Intel snaps up Templex” Dec. 17 (2001)
- [30] J. Shah, “Optical CDMA”, *Optics & Photonics News*, vol. 14, pp. 42-47, 2003
- [31] X. Wang, et.al., “10-user, truly-asynchronous OCDMA experiment with 511-chip SSFBG en/decoder and SC-based optical threshold”, OFC & NFOEC PDP33 (2005)



김봉규

1989년 한양대학교 물리학과(학사)
1992년 한국과학기술원 물리학과(석사)
1996년 한국과학기술원 물리학과(박사)
1996년 ~ 1999년 한국과학기술연구원 Post-doc.
1999년 ~ 현재 한국전자통신연구원 선임연구원



박혁

1986년 서울대학교 물리학과 학사
1990년 서울대학교 물리학과 석사
1995년 서울대학교 물리학과 박사
1995년 ~ 1996년 한국전자통신연구소 Post-doc.
1997년 ~ 현재 한국전자통신연구원 선임연구원



김광준

1981년 서울대학교 물리학과 학사
1983년 서울대학교 물리학과 석사
1993년 Ohio State University 물리학과 박사
1984년 ~ 현재 한국전자통신연구원 WDM기술팀
팀장/책임연구원