

아날로그 SCM 광전송 기술

朴鎭雨, 朴時佑, 尹玩奎, 金海壽
高麗大學校 電子工學科

1. 서론

현대 정보통신사회에서 다양한 정보서비스를 실현하기 위하여는 음성, 데이터, 그리고 영상정보 등이 혼합된 방대한 양의 정보를 원활하게 전송하여야 하며, 이에 따라 장거리 광대역 정보전송에 가장 효율적인 광섬유통신에 기초한 광전송기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 광전송기술의 궁극적인 전송 방식은 광대역 종합정보통신망(B-ISDN)의 실현을 위한 디지털 전송이어야 하나, 현재에 활용중인 CATV나 DBS와 같은 기존의 아날로그 전자통신 기술 및 규격과의 혼용성, Gbps급의 디지털 광신호 처리기술의 실용적 발전의 미흡, 그리고 광전송체계의 이전에 따른 즉시활용의 가능성과 경제성 등을 고려하여 과도기적인 기술로서 또는 독특한 응용분야에 적합한 기술로서 아날로그 광전송기술의 개발에 대한 중요성이 인식되고 있다.

아날로그 광전송방식은 아날로그 전기신호로 직접 광원을 구동하여 아날로그 광세기변조된 광신호를 광섬유를 통하여 전송하는 방식을 의미한다. 따라서 아날로그 광전송방식은 다양한 신호형태, 즉 아날로그 변조된 신호나 디지털 변조된 신호의 형식에 구애없이 동시에 용이하게 수용가능한 장점이 있다. 또한 다수의 입력신호를 다중 전송함에 있어서 현존의 전자적 다중화기술을 직접적으로 이용한 광대역 부반송파 다중화 (Analog Subcarrier Multiplexing: SCM)기술이 즉시 활용가능하다. 그림 1에 보여주고 있는 SCM기술은 송신측에서 여러 개의 기저대역 신호를 개별적인 국부발진기를 사용하여 주파수분할 다중화를 한 후에 다중화된 전기적 신호로서 광파를 변

조하여 광섬유 전송하고, 수신측에서는 광다이오드를 통해서 전기적인 신호를 얻은 후에 해당 부반송파의 주파수에 실려있는 기저대역 신호를 추출하여 원하는 정보를 복원하는 방식이다.^{1) 2) 3)}

그러므로 SCM방식은 시분할 디지털 광전송시스템에서 요구되는 아날로그 형식의 입력신호에 대한 디지털화 과정과 전송시스템의 동기화 과정이 필요없으므로 구현이 간단하다. 특히 SCM방식은 신호의 다중화에 있어서 기존에 안정적으로 발전된 마이크로파 소자를 사용한 전자적 다중화기술을 그대로 활용함으로써 경제적인 실현이 용이하고 기존 전자적 다중화 통신시스템과의 혼용성이 우수하다. 그러나 아날로그 변조방식에 기초함으로써 광변조 및 전송에 따르는 잡음과 왜곡현상에 민감하므로, 광전송시스템에 사용하는 광소자와 전송시스템의 특성과 다중화할 수 있는 신호의 수 및 신호 변조도가 제한됨으로써 전체적인 전송성능이 제한된다는 단점을 갖고 있다.

SCM 방법은 초기에 CATV의 영상분배시스템에 적용하려는 시도에서 1977년 Chan과 Hara에 의하여 제안되었으나⁴⁾, 당시에 가용한 레이저다이오드의 비선형왜곡, 세기잡음(RIN), 그리고 광섬유의 높은 분산과 감쇠로 인하여 실제적인 응용이 제한되었다. 1980년대에 AT&T의 Darcie에 의하여 다중접속망을 위한 SCM⁵⁾, 그리고 GTE의 Olshansky에 의한 60채널 전송의 FM-SCM 시스템이 발표되어 실제적인 아날로그 광전송기술이 개발되었다.⁶⁾ 현재에는 상용화된 다채널 CATV 전송시스템이 활용중에 있으며, 이외에 개인통신망(Personal Communications Network: PCN)에서 마이크로셀에서의 무선port와 중앙 스테이션과의 광섬유 radio link로의 활용이 주목을 받고 있으며 한편으로는 HDTV, 디지털

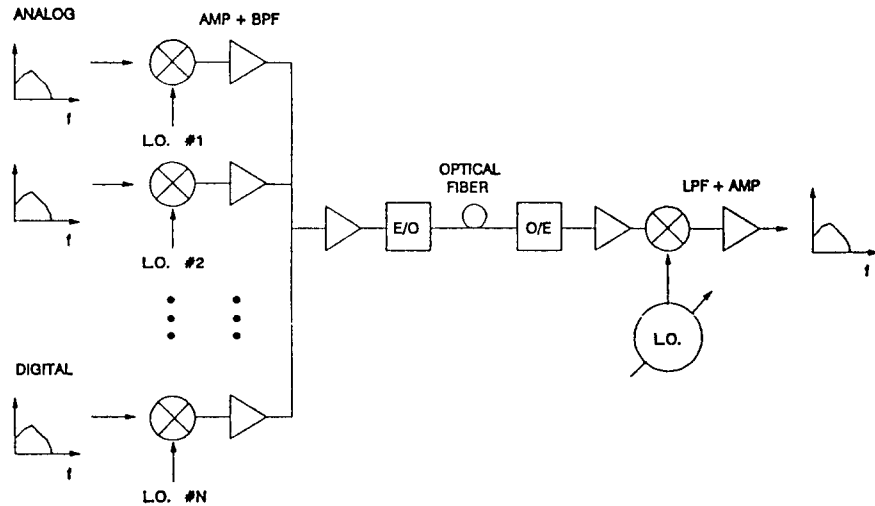


그림 1. SCM 시스템의 기본 블록도

탈 영상서비스, ATM 전송에 기초한 종합 정보서비스를 위한 광대역 다중전송에서의 활용을 예상하는 등의 확장된 응용에 대한 연구가 진행되고 있다.

본 고에서는 아날로그 SCM방식의 종류와 특성을 설명하고, SCM방식의 성능에 영향을 미치는 다양한 잡음과 비선형 왜곡현상의 특성과 성능제한 효과를 분석한다. 이후에 SCM방식에 기초한 응용분야로써 CATV, PCN, ISDN에서의 활용에 대하여 기술하고자 한다.

II. 아날로그 SCM 방식의 종류

아날로그 SCM 방식에서는 부반송파를 변조하는 방법에 따라 광채널에서 발생하는 잡음이나 왜곡에 의한 성능제한 효과가 다르므로, SCM 시스템에 사용되는 레이저 다이오드와 광검출 다이오드에 대한 특성과 성능에 대한 요구사항도 변조방법에 따라 다르다. 아날로그 SCM에 주로 적용되는 변조방법은 FM 방식과 AM 방식으로 구별되는데 본 장에서 각 방식이 갖게 되는 상대적 장단점을 설명한다.

1. AM-SCM 방식

실제로 일대일 또는 일대다수 통신에 응용되는 다채널 AM-VSB 신호를 광을 통해서 전송하는 방법은

다른 변조방법에 비해 직접적이고 구현이 용이한 방법이다. 그러나, AM 채널의 경우 광전송시에 발생하는 잡음성분들이 신호에 그대로 영향을 미치기 때문에 출력에서의 SNR이 CNR에 비해 전혀 이득이 없다. 따라서, AM 방식을 택할 경우 높은 CNR이 요구됨으로 시스템의 RIN (relative intensity noise)과 레이저의 높은 선형성이 요구된다. 그림 2는 잡음성분만을 고려하여 방송 AM과 FM에서의 RIN과 광변조지수 (Optical Modulation Index : OMI)와의 관계를 나타낸 것이다.

그림 2를 보면 동일한 변조지수하에서 AM에서의 RIN이 더욱 작음값이 요구된다. 채널당 변조지수가 5%라고 가정할 때, FM 변조방식의 경우 -130 dB/Hz 정도의 RIN을 가지는 일반적인 레이저로 56dB 이상의 SNR를 얻기에 충분하다. 그러나 AM의 경우 높은 SNR를 얻기 위해서는 충분히 큰 OMI를 필요로 하는데 OMI가 커질수록 레이저의 비선형성에 의한 왜곡이 증가하므로 OMI의 증가는 제한된다. 따라서 원하는 SNR를 얻기 위해서는 좋은 선형성의 레이저와 시스템의 RIN이 낮아야 하는데 이것은 비싼 가격의 광소자를 사용해야 한다는 의미가 된다.

AM 시스템의 또 다른 단점은 전력이득의 문제이다. 그림 3은 다채널 FM과 AM 신호를 전송하는 경우의 전력이득을 비교한 것이다. 그림 3에서 볼 수 있듯이 다채널 AM의 전력이득은 일반적인 레이

저 다이오드와 p-i-n 다이오드의 수신기를 사용할 경우 매우 제한되어 있다는 단점이 있다. AM 변조방식 시스템의 전력이득은 보통 5dB-10dB 정도이며, 따라서 AM 시스템에서 이같이 제한된 전력이득을 향상시키기 위해 일반적으로 다수의 증폭기를 사용하고 있다.

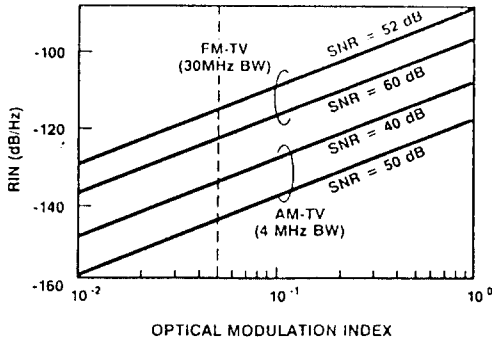


그림 2. FM, AM 영상 신호의 RIN대 변조지수

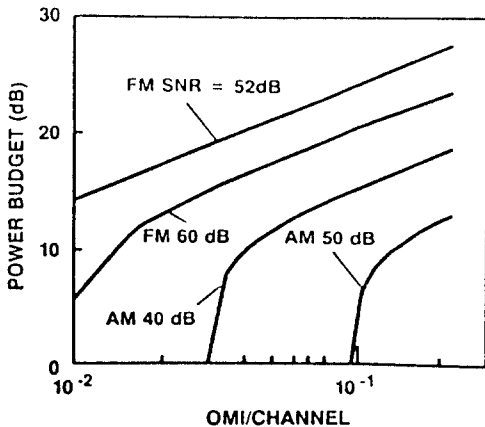


그림 3. 광전송 시스템에서 변조지수에 따른 전력 이득

2. FM-SCM 방식

AM 변조방식이외에 CATV 나 광섬유를 이용한 위성신호 전송에 많이 이용되고 있는 변조방법은 FM 방식이다. FM 신호는 AM에 비해 신호대역폭이 넓어지는 반면 신호의 SNR 이 AM 에 비해 상당히 향상되는 장점을 지니고 있다. 즉, FM 수신기에서의 SNR 은 수신기 입력에서의 CNR 에 비하여 매우 크게 된다. 이것은 FM 으로 변조된 신호는 캐리어의 크기에

정보를 싣는 것이 아니라 캐리어의 순간 주파수에 정보를 싣기 때문이다. 광채널에서 발생하는 잡음성분들은 캐리어의 크기에 영향을 많이 미치게 되지만 캐리어의 주파수에 미치는 영향은 상대적으로 작다. 따라서 FM 변조방식으로 전송할 경우 출력에서의 SNR 은 CNR 에 비해 상당한 이득을 가진다.

FM 시스템은 상기에서 서술한 바와 같이 매우 큰 SNR 개선이 있기 때문에 광전송 시스템에서 이 방식을 채용한 다채널 영상신호 전송은 매우 신뢰성이 있으나, 이에 반하여 대역폭이 늘어나는 단점과 현재 가정에 보급되어 있는 TV 와 같이 수신기가 AM 방식이라면 신호를 수신하는데 별도의 FM/AM 변환기가 필요하게 된다.

Ⅲ. 광소자의 잡음과 비선형 특성

일반적으로 SCM 시스템에서 시스템의 성능에 영향을 미치는 요소들로는 시스템에서 광의 반사에 의한 상대세기잡음 (Relative Intensity Noise : RIN), 수신단에 도착하는 광자수의 통계적 특성에 의한 산탄잡음 (shot noise), 전자의 열적인 운동에 의한 열잡음 (thermal noise), 광증폭기의 사용시에 이에 따른 증폭자연방출(Amplified Spontaneous Emission : ASE)잡음과 레이저의 비선형성에 의한 혼변조 왜곡(intermodulation distortion)등이 있다.

1. 상대세기잡음 (RIN)

일반적으로 세기잡음은 레이저에서 온도변화나 자연방출 (spontaneous emission), 시스템 전체에서의 반사에 의해서 발생한다. 이러한 요인에 의한 불규칙한 레이저 출력 크기의 요동은 잡음원으로 작용하게 되고 수신 신호에 실린 세기잡음은 신호의 질에 직접적인 영향을 미치게 된다. 세기잡음은 보통 정규화해서 나타내는데 다음의 식(1)로 정의된다.

$$RIN = \frac{\langle i_n^2 \rangle}{\langle i_k \rangle^2} \tag{1}$$

여기에서, $\langle i_n \rangle$ 은 잡음전류 스펙트럼 밀도이고, $\langle i_k \rangle$ 는 수신된 직류 광전류이다.

레이저 다이오드에서 RIN 은 바이어스 전류를 증가시켜서 감소시킬 수 있는데 그림 4 에서 보여주고

있다. 이때 RIN 과 바이어스 전류와의 관계는 식(2)로 주어진다⁷

$$RIN \propto \left(\frac{I_b}{I_{th}} - 1 \right)^3 \quad (2)$$

식(2)에서 I_b 는 바이어스 전류이고, I_{th} 는 임계 전류(threshold current)이다.

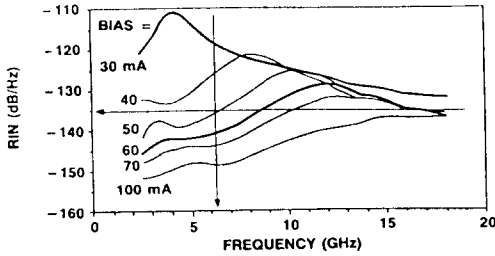


그림 4. 바이어스 전류에 따른 RIN

시스템에서 반사에 의해 레이저로 되돌아오는 광은 RIN 에 영향을 미치게 된다. 외부 반사가 레이저에 미치는 영향은 레이저의 코히런트 정도에 의해 결정되는데, 일반적으로 레이저가 코히런트할수록 반사에 더 민감하게 된다. 이때 레이저의 코히런스 시간 τ_c 는 레이저의 스펙트럼 폭을 $\Delta\nu$ 라 할때 식(3)과 같다^{1, 8, 9}

$$\tau_c = 1 / (2\pi \cdot \Delta\nu) \quad (3)$$

식(3)에 의하면 다중모드(multi-longitudinal mode) 레이저의 스펙트럼 폭이 단일모드(single-longitudinal mode)보다 크기 때문에 코히런스 시간이 다중모드에서 훨씬 짧다. 따라서 다중모드보다 단일모드 레이저가 반사에 더욱 민감하게 반응한다.

2. 산탄잡음 (shot noise)

광검출 다이오드에서의 빛의 검출은 다이오드에 입사한 광자에 의해 전자정공쌍 (Electron-Hole Pair : EHP)를 발생시켜서 전류를 얻는 이산 프로세스(discrete process)이다. 따라서 빛의 검출은 수신기에서의 신호의 광자 도착의 통계적인 특성에 의해 나타난다. 이때 산탄잡음은 빛과 광전류사이의 통계적인 특성에 의한 잡음으로 검출기에서 평균 전류의 변화형태로 나타난다. 전하량을 q , 대역폭을 B , 광전류를 I_{ph} 라 할때 산탄 잡음은 다음과 같이 나타난다.^{1, 10, 11}

$$\langle I_{sh}^2 \rangle = 2 \cdot q \cdot I_{ph} \cdot B \quad (4)$$

3. 열잡음(thermal noise)

광다이오드는 빛을 전류로 바꾼후에 부하저항(load resistor)를 통해서 전압으로 변환된다. 이때 저항에서 열적으로 발생된 전류가 주된 열잡음원이다. Boltzmann 상수를 K , 절대온도를 T , 대역폭을 B , 부하저항을 R_L 라 할때, 열잡음은 식(5)로 주어진다^{1, 11}

$$\langle I_{th}^2 \rangle = 4 \cdot K \cdot T \cdot B / R_L \quad (5)$$

4. 광섬유 증폭기에서의 증폭자연방출잡음 (ASE)

현재 급속히 대두되고 있는 광섬유 증폭기는 기존의 증폭기가 광신호를 전기신호로 바꾼후에 이를 증폭하여 다시 광신호로 바꾸는 방법을 사용했던 것에 반해 희토류 원소(rare-earth ion)를 포함한 광섬유에 특정한 파장의 광을 신호광에 합해 주어서 직접적으로 증폭 현상을 얻는 방법이다. 그림 5는 Er^{3+} 도핑 광섬유 증폭기(EDFA)에서 Er^{3+} 의 에너지 준위를 보여주고 있는데, 1500 nm대에서 이득을 얻게 되는 것은 ${}^4I_{15/2}$ 레벨(바닥 상태)에서 ${}^4I_{13/2}$ 레벨(준안정 상태)로 광자의 흡수가 일어난 후 ${}^4I_{13/2}$ 에서 ${}^4I_{15/2}$ 로 전이시에 1500 nm대의 광자를 방출하기 때문이다. 이때 발생하는 잡음원은 여기상태흡수(Excited-State Absorption : ESA)에 의해서 나타난다. ESA는 준안정 상태의 이온들이 펌프 또는 신호의 광자의 흡수로 인해서 보다 높은 레벨로 여기되는 것을 말한다. 여기된 이온들이 나중에 ${}^4I_{13/2}$ 레벨로 되돌아 온다고 할지라도 이때에 광자는 열이나 원하지 않는 파장대의 자연 방출(spontaneous emission)으로 나타나게 된다. 이때에 자연방출에 의한 파장이 신호의 파장에 영향을 미치게 되는데 이를 증폭자연방출(ASE) 잡음이라 한다.^{12, 13, 14}

ASE는 신호 대역내에서 신호와 자연방출사이의 관계에 의한 잡음(N_{sig-sp})과 자연 방출 사이의 관계에 의한 잡음(N_{sp-sp})을 발생시키는데, N_{sig-sp} 와 N_{sp-sp} 는 아래의 식(6)과 식(7)로 주어진다^{11, 15}.

$$N_{sig-sp} = 4R\eta e \cdot n_{sp} \cdot (G-1)L^2GP_{in}B \quad (6)$$

$$N_{sp-sp} = 4R^2(h\nu \cdot n_{sp} \cdot (G-1) \cdot L)^2 B \cdot B, \quad (7)$$

식(6)과 (7)에서 B 는 신호의 대역폭, B_s 는 광 대역폭, R 은 광수신다이오드의 민감도(responsivity)로

$R=\eta e/h\nu_s$ (η : 양자효율, ν_s : 신호 주파수)로 주어지고, G 는 증폭기의 이득, L 은 후치증폭기(post-amplifier) 손실이다.

ASE에 의한 CNR은 채널의 변조지수를 크게 해서 자연방출에 의한 영향을 줄일 수 있다. 그러나, 채널의 변조지수를 크게 하게 되면 레이저의 비선형성에 의한 혼변조 잡음이 증가하게 되므로 적절한 값을 선택해야 한다.

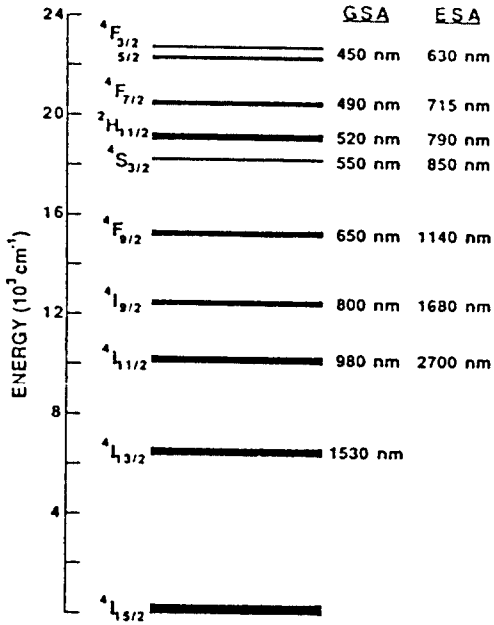


그림 5. Er³⁺의 에너지 레벨

5. 고조파와 혼변조(Harmonic and Intermodulation)왜곡

서로 다른 주파수의 많은 신호가 비선형 소자를 통과하면 원래 주파수이외에 원래 주파수의 합과 차의 주파수가 발생하게 된다. 이러한 합과 차의 주파수가 원래 신호의 주파수대역에 중복되어 위치함으로써 시스템의 성능이 제한을 받게 된다. 일반적으로 레이저는 무기억 비선형성(memoryless nonlinearity)으로 나타내는데, 이러한 성질을 모델로 표현하면 식(8)과 같다.^{16, 18)}

$$Y = C + A_1(X + A_2X^2 + A_3X^3) \tag{8}$$

여기에서 Y 는 광 출력, X 는 구동전류, C, A_1, A_2, A_3

는 상수이다.

동일한 크기의 주파수 다중화된 신호를 위와 같은 특성을 가지고 있는 레이저의 입력신호로 하고 왜곡 현상을 고려해 보도록 한다. 이때 입력 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$X = \sum_{N=L}^M \cos(N\omega_n t) \tag{9}$$

여기에서 주파수는 L 에서 시작하여 M 까지 균일한 주파수 간격과 주파수 성분당 동일한 출력을 가정한다. 2차 혼변조 항은 식(9)를 식(8)에 대입할 때 X^2 에 의해서 발생하게 된다.

$$X^2 = \frac{1}{2} \sum_{K=L}^M \sum_{J=L}^M \{ \cos((J+K)\omega_n t) + (\cos(J-K)\omega_n t) \} \tag{10}$$

2차 혼변조에서와 마찬가지로 형태로 3차 혼변조 항은 식(8)에서 X^3 에 의해서 발생하게 되는데 다음과 같다.

$$X^3 = \frac{1}{4} \sum_{I=L}^M \sum_{J=L}^M \sum_{K=L}^M \{ \cos((I+J+K)\omega_n t) + \cos((I+J-K)\omega_n t) + \cos((I-J+K)\omega_n t) + \cos((I-J-K)\omega_n t) \} \tag{11}$$

표 1. 비선형에 의한 혼변조 항들

항의 형태	3차 수	항의 위상 기본 주파수 파워의 차 (dB)	항의 수
2차			
2A	1	0	1 (N/2가 정수일 때)
A + B	2	6	Int((N+1)/2) - L
A - B	2	6	M - L + 1 - N
3차			
3A	1	0	1 (N/2가 정수일 때)
2A + B	3	9.54	Int((N+1)/2) - Int(N/3) + Int((N+1)/3) - L + 1
2A - B	3	9.54	Int((N+1)/2) + Int((N-1)/2)
A + 2B	3	9.54	Int((N+1)/2) - L + 1
A + B + C	6	15.56	Int((N+1)/2)Int((N+1)/2) + Int(L)(M)
A + B - C	6	15.56	Int((M-N)/2)Int((M-N)/2) + Int((M-N)/2)
A - B + C	6	15.56	Int((M-2L-N+1)/2)Int((M-2L-N)/2)
A - B - C	6	15.56	Int((3M-N-3)/6) - Int((3M-N-1)/2)

* Int(N)은 N의 정수부분

표 1은 2차와 3차의 고조파와 혼변조 항들과 각 항의 기본파와의 파워비를 나타내고 있다.¹⁷⁾ 이러한 혼변조 왜곡은 OMI가 증가함에 따라 증가하게 되는데, 이것은 OMI가 증가함에 따라 레이저의 비선형

성이 증가하게 되기 때문이다. OMI의 증가에 따라서 혼변조왜곡이 CNR에 미치는 영향이 그림 6에 나타나 있다.

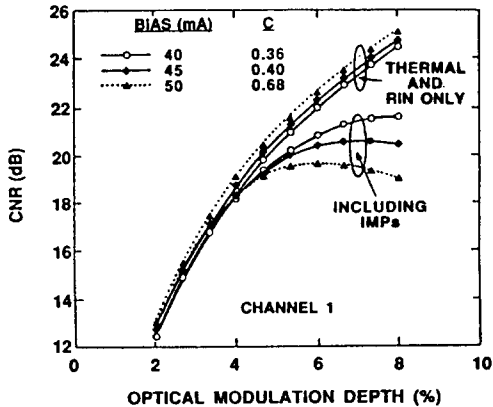


그림 6. OMI에 따른 혼변조와 CNR

IV. SCM방식의 응용

1980년대 이후 광소자기술의 급속한 발전으로 SCM 방식은 여러분야에서 활용을 검토하고 있다. 서론에서 언급한 바와 같이 SCM 방법은 아주 간단한 구조로 되어있고 현재의 기술로 충분히 효과적인 성능을 얻을 수 있는 방법으로 현재 다채널 CATV 전송시스템에서 supertrunk의 동축케이블을 대신하여 활용중에 있으며, 개인통신망(Personal Communications Network : PCN)에서 마이크로셀에서의 무선port와 중앙 스테이션과의 광섬유 radio link로의 활용이 주목을 받고 있다. 또한 광대역 다중전송에서의 활용등의 확장된 응용에 대한 연구가 진행되고 있다. 본장에서는 SCM 방식의 응용분야로써 CATV, PCN, 그리고 ISDN에서의 SCM 방식의 활용에 대해서 알아보도록 한다.

1. CATV에서의 SCM

현재 실용중인 대부분의 CATV 망은 동축케이블을 전송선로로 이용하여 가입자들에게 영상신호를 전송하고 있다. 이러한 기존의 시스템에서는 동축케이블

의 높은 신호손실률과 전송망에서의 분기손실(splitting loss)에 의해서 중앙분배국(headend station)에서 가입자에게까지 충분한 신호전력을 전송하기 위해서 많은 신호증폭단을 갖는 중계기를 필요로 하고, 이 때문에 전체 전송시스템의 성능에 제한을 받게된다. 즉, 증폭기는 신호의 전력수준을 높이는 대신에, 사용되는 전자소자의 잡음발생과 분배부분에서의 신호반사로 인한 잡음의 축적, 그리고 RF 능동소자의 비선형성에 의한 신호의 왜곡현상이 불가피하므로 결과적으로 전송되는 영상신호의 열화를 피할 수 없다. 또한 중계기로의 전력중계 및 중계기의 성능유지의 어려움으로 전체적 영상분배 시스템의 신뢰성이 사용시간에 따라 급격히 저하되고 운영유지 경비의 증가 원인이 된다.

이에 반하여 CATV 망에 광섬유를 전송선로로 사용했을때의 이점은 광범위 사용주파수 대역에서의 극히 낮은 전송손실률과 작은 신호왜곡률, 그리고 높은 신뢰성과 운영의 경제성을 들 수 있다. 그리고 광기술 수준의 발전상황에서 높은 광소자 가격과 설치에 따른 높은 초기투자비용으로 그동안 광섬유 전송방식이 동축케이블 전송방식에 비하여 경제성이 열등한 것으로 인식되어 왔으나, 최근에 광소자 기술의 발전에 따른 경제성 확보와 앞으로의 광대역 신호전송의 활용 증대에 따른 광섬유망의 필요성에 의하여 광섬유 CATV 방식의 활용이 세계적으로 확산되고 있다. CATV에서 광의 이용은 광대역의 작은 전송손실을 가지는 광을 이용하여 Headend와 Hub사이(supertrunk)의 동축케이블을 대신하고자 하는 방법을 제시하고 있다. 기본 전송 시스템망의 구조는 그림 7과 같다.¹⁸⁾

아날로그 SCM 기술을 CATV에 이용하는 경우에, 현재의 NTSC AM-VSB 신호를 그대로 전송하는 방법과 AM 신호를 FM 신호로 바꾸어서 전송하는 방법이 있다. 이때에 II장에서 살펴본 바와 같이 잡음 특성이나 CNR, 전력이득 등에서 FM-SCM 방식이 우수한 특성을 보이고 있으나 FM/AM 변환기가 필요하다는 단점을 갖고 있다. 일반적으로 AM-SCM 전송에서 적절한 화상의 질을 얻기 위해서는 trunking/feeder 분배에서 필요한 반송파대 잡음비(CNR)는 48 dB 이상이고 2차 혼변조 왜곡(CSO)과 3차 혼변조 왜곡(CTB)은 -60 dBc 이하로, supertrunking 시스템에서는 CNR은 55 dB 이상, CSO와 CTB는 -65 dBc 이하로 규정되어 있다. 과거의

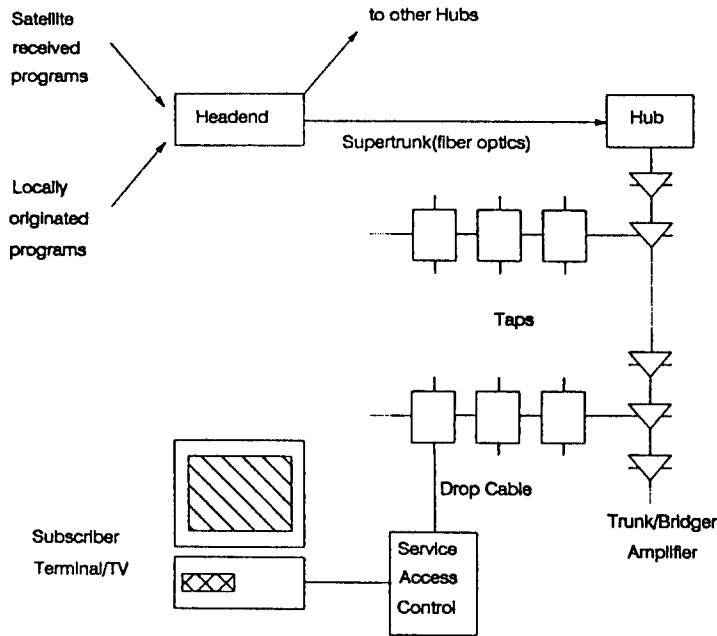


그림 7. 트리구조의 광 CATV망

AM-SCM 방식은 광섬유의 큰 분산과 손실, 레이저 다이오드의 비선형성과 세기 잡음(intensity noise) 등에 의해서 채널의 수와 전력이득(power margin)에 제한을 갖고 있었다. 그러나, 80년대 후반 이후로 높은 출력 파워와 선형성, 낮은 세기잡음을 가진 1300/1550 nm 의 DFB(Distributed Feedback) 레이저의 급속한 발전과 고속 저잡음 수신기의 등장으로 40채널이상의 신호를 10 Km이상 전송할 수 있는 실제 AM-SCM 시스템이 개발될 수 있게 되었다.^{[19] [20]} 또한, 여러 채널중에서 일부분을 이용 해서 양

방향 통신을 할 수 있으므로 PPV(pay per view)나 VOD(video on demand)와 같은 interactive한 서비스를 제공할 수도 있다.^[21]

그림 8은 채널당 변조지수에 대한 시스템의 전력이득과 수용가능한 채널수를 나타내고 있다.

2. PCN에서의 SCM

개인통신 서비스는 개인을 통신의 주체로 하는 개인화 및 이동성을 강조하는 차세대의 이동통신기술로서, 새로운 마이크로 셀 또는 피코셀의 망 개념을 필요로 한다. 개인통신 서비스에서의 마이크로셀 망은 유한한 주파수자원을 최대로 활용할 수 있는 장점이 있으나 셀 크기의 감소로 인하여 구성시스템 수의 증가에 의한 비용의 증가 및 핸드오프의 빈번한 발생으로 인한 급증하는 호처리 부담을 갖게 된다.^[22] 한 셀이 제공 하는 채널수가 일정하다고 할 때 마이크로셀을 구성하기 위하여 셀의 반경을 1/10로 감축하면, 즉 반경 수 Km의 기존의 셀에서 수백 m의 마이크로셀로 통신영역을 구성하면 채널수가 약 100배 정도로 증가한다. 그러나 증가되는 채널수와 함께 100배 늘어난 마이크로셀의 수, 즉 기지국의 수가 증가된다.

그러므로 이 마이크로셀의 기지국을 운영함으로써

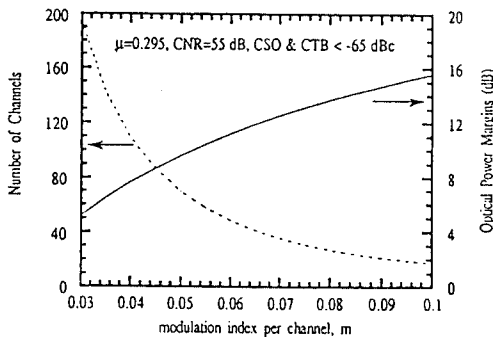


그림 8. 채널당 변조지수에 따른 전력이득과 채널수

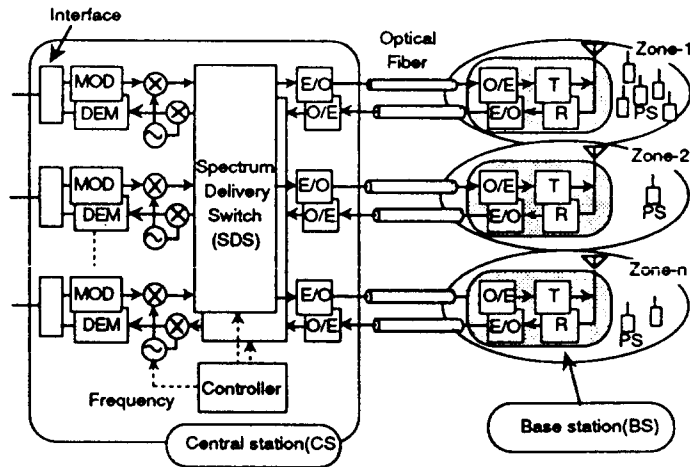


그림 9. 스펙트럼 분배 스위치를 이용한 광 마이크로셀 무선망 시스템

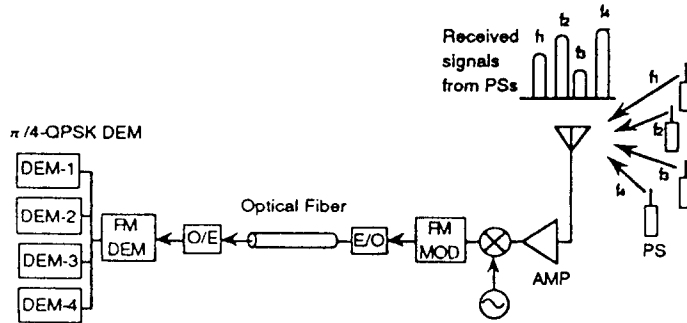


그림 10. 부반송파의 FM을 이용한 이중변조 전송방법

업는 장점은 셀의 크기가 작아짐으로써 가용 채널 수가 증가하고, 짧아진 통신거리때문에 단말기와 RF 기지국의 송신출력이 수 mW로 작아지므로 소형 경량화, 저렴화, 사용시간의 연장이 가능하다.²³

또한 간단하고 작아진 RF 기지국은 설치의 자유성이 증가하게 되어 기존 이동통신에서 지니던 송수신 불가능지역의 문제를 경제적으로 해소할 수 있다. 그러나 대두되는 문제점은 셀의 크기가 작아지므로 단말기의 이동에 따른 핸드오프 발생률이 급격히 증가하고 고속의 핸드오프 처리속도가 요구된다는 점이다. 예를 들어 차량이 반경 200 m의 마이크로셀을 시속 60 km의 속도로 주행 한다면 이 차량 단말기는 매 20 초 정도마다 핸드오프 되어야 하지만 현재 셀룰러 전화의 핸드오프 처리 시간이 수초가 걸리는 것을 감안

하면, 사용자 밀도가 높은 마이크로셀에서 이런 빈번한 핸드오프는 처리가 불가능해진다. 따라서 PCN에 관련된 주파수 할당, 호처리, 핸드오프처리 등에 관련된 모든 작업은 중앙국에서 담당하게 되는 중앙 제어방식으로 이루질 것으로 예상되며, 이에 따라 기지국과 중앙국과의 원활한 광대역 통신이 필요하게 된다. 이때 광섬유를 이용한 부반송파 다중화(SCM) 방식은 간단하고 적은 비용으로 구축 할 수 있는 방식으로 선택되고 있다.²⁴

스펙트럼 분배 스위치(spectrum delivery switch)를 이용한 마이크로 셀 무선망의 부반송파 다중화 방식을 그림 9에 나타내었다.²⁵ CS(central station)는 많은 수의 변 복조기(modem)와 주파수 변환기, 스펙트럼 분배 스위치로 구성되어 있으며,

데이터는 BS(base station)와 CS간에 SCM 방식을 이용해 광섬유로 전송되며 이들의 통제 및 채널 할당은 CS에서 모두 담당한다. 모든 처리는 CS에 집중되어 있기 때문에 BS는 각 사용자들로부터 수신된 신호를 효율적으로 CS에 전송해 주고 CS로부터의 신호를 각 사용자들에게 전송하게 된다. 이러한 역할은 SCM 방식을 이용하면 효율적으로 수행할 수 있다. 즉, 각 사용자들로부터 BS의 안테나로 주파수분할이 되어 수신된 신호들이 직접적으로 레이저를 구동하여 광섬유를 통해 CS에 전송되고 이를 CS에서 수신하여 처리하면 된다 이때 가장 문제시 되는 점은 BS에서 서로 다른 많은 주파수를 사용할 때 near/far 문제나 케이딩에 의해서 레이저의 넓은 dynamic range 가 필요하게 되는 점과 레이저의 비선형성 문제이다. 레이저의 비선형성에 의해서 BS의 안테나에 강하게 수신된 신호들에 의한 혼변조향이 아주 작게 수신된 신호의 주파수 영역에 위치하게 될 때에는 작게 수신된 신호에 커다란 영향을 미치게 될 것이다. 이를 개선하기 위해서 그림 10 에서 이중변조 방법을 제시하고 있다.^{[25][26]} 이는 안테나를 통해 수신된 서로 다른 크기의 여러 주파수 신호들을 다시 주파수 편조시킨 후에 이 신호를 이용해서 레이저를 구동하고 CS 에서 역과정을 거치는 방법이다. 이러한 방법을 사용하게 되면 레이저 구동전류의 최대값이 고정되기 때문에 레이저의 비선형성에 의한 혼변조 왜곡을 상당히 감소시킬 수 있다. 이러한 경우에 20dB의 SNR 을 고려하면 -50dBc의 3차 혼변조 왜곡(CTB)

을 만족시키면서 대략 -70dBm에서 -10dBm의 신호를 처리할 수 있게 된다.

3. 광대역 서비스망에서의 SCM응용

가입자택내까지 수백 Mbps 광대역 정보데이터를 전송하는 B-ISDN에 대하여 최근 수년간 집중적으로 연구되고 있다. 이러한 광대역 광전송시스템의 실현을 위한 주된 연구방향은 디지털 데이터전송을 기초로 한 능동형 이중성형(double star) fiber-to-the-home (FTTH)구조가 선호되어 왔다.^[27]

그러나 가입자택내까지 연장되어 설치되어야 하는 광섬유와 고가의 광전장치, 다수의 능동형 망노드의 필요성과 이에 따르는 많은 수의 고속의 디지털 전자장치의 필요성으로 인하여 경제성의 문제가 대두되었고 실제적인 구현이 지연되고 있다. 이에 대한 많은 대안이 연구되었으며, 이중에 영국의 BT연구소에서 개발하여 제안한 수동형 광소자의 사용을 전제로한 수동형 광망(PON) 구조^[28]와 미국의 Raynet사에서 제안한 가입자 구역까지 광전송을 하는 fiber-to-the-curb (FTTC) 방식^[29]이 1990년대의 경제성을 갖춘 광대역 광전송망 구현 방법으로 제안되었으며, 이와 함께 안정적으로 활용중인 아날로그 SCM 신호 전송방식의 혼합적용에 대한 가능성을 연구중에 있다.^{[24][30]}

PON과 FTTC를 가상한 광대역 서비스망의 구조가 그림 11에 있으며, 32 DS1채널과 64 스위치드 FM 영상 채널의 SCM 다중화 전송장치의 기능블럭

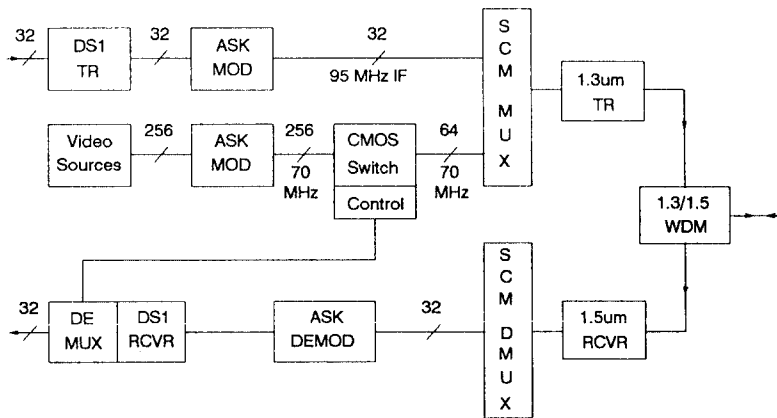


그림 11. PON과 FTTC를 기반으로한 광대역 서비스망의 예

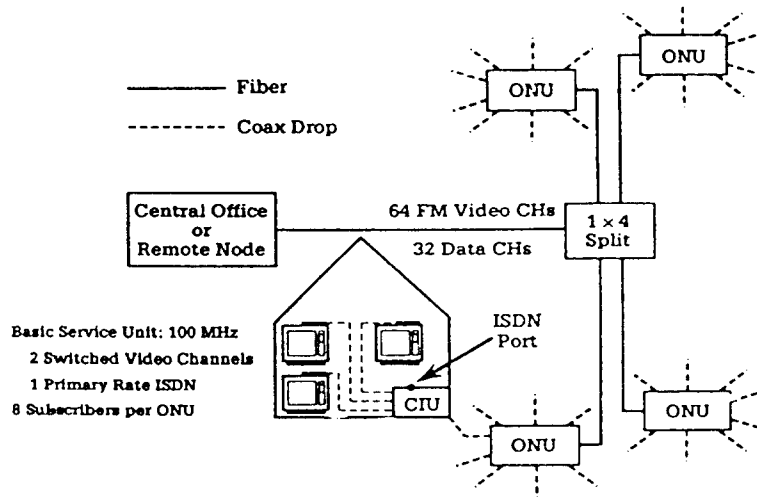


그림 12. 광대역 SCM 신호다중화 시스템의 기능블럭도

도가 그림 12 에 있다. 이와 같은 광대역 정보서비스 망은 초기의 광정보망의 형태로서 경제성과 구현 가능성이 크게 인정되고 있으며, 차기 세대의 본격적인 광대역 정보서비스망으로의 변환에도 용이하게 적용할 수 있다는 장점이 있다. 즉 초기에 설정한 100MHz 가입자 정보대역폭은 다른 서비스에 대처하여 쉽게 개량될 수 있으므로, 20 Mbps의 HDTV 디지털 표준전송률이나 6MHz 표준영상 기저대역 그리고 ATM에 비초한 서비스, 즉 DS-1이나 DS-3 또는 STS-3 전송률의 SMDS서비스를 수용할 수 있을 것으로 예상하고 있다.

V. 결론

현대정보사회에서 급증하는 정보량의 원활한 통신의 수요를 만족시키고자 방대한 대역폭의 광전송기술에 대한 많은 연구들이 진행되고 있다. 각종 정보, 통신기기로부터 발생하는 다양한 신호들을 수십 내지 수백 GHz에 달하는 광대역신호로 효과적으로 다중화하여 전송하고자 하는 여러가지 방법들이 제안되고 있는데, 아날로그 SCM 방식은 현재의 기술수준에서 경제적 실현이 즉시 가능하고 미래 광전송망으로의 변화에 용이하게 대처할 수 있다는 큰 장점을 가지고 있다.

본 고에서는 아날로그 SCM 방식의 종류와 시스템의 성능에 영향을 미치는 잡음과 왜곡현상들, 그리고 몇가지 응용분야에 대해서 알아 보았다. 현재 CATV 전송망에서 실용화 상태에 있는 SCM 방식은 기존의 서비스보다 고화질의 다양한 영상서비스를 제공할 수 있고 양방향 통신으로 사용자의 요구에 따른 정보를 전달할 수도 있다. 또한 차세대 이동통신방식인 PCN에서 다수의 마이크로셀 기지국을 운영함으로써 발생하는 채널할당, 호처리, 핸드오프처리 등에 관련된 문제를 효과적으로 해결할 수 있는 방법으로써 최근에 연구되고 있다. 또한 가입자에게 직접 광대역 정보서비스의 제공을 목적으로 하는 B-ISDN에서도 현재 SCM방식의 장점을 이용하여 적용할 수 있음을 보였으며 미래의 본격적인 B-ISDN으로의 변천으로의 가능성에 대하여 논하였다. 아날로그 SCM 광전송 기술은 앞으로의 광관련 기술의 발전과 함께 성능이 크게 개선될 것으로 예상되며, 따라서 2000년대의 본격적인 디지털 정보통신망의 실현에 앞서 많은 활용분야와 영역에서 광대역 정보전송을 위한 중요한 역할을 담당하리라 예상된다.

參考文獻

- [1] W. I. Way, "Subcarrier Multiplexed

- Lightwave System Design Consideration for Subscriber Loop Applications." *IEEE J. Lightwave Technol.*, vol.7, no. 11, pp.1806-1818, 1989.
- [2] P. M. Hill et al. "A 20-Channel Optical Communication System Using Subcarrier Multiplexing for the Transmission of Digital Video Signals." *IEEE J. Lightwave Technol.*, vol.8, no. 4, pp.554-560, 1990.
- [3] R. Olshansky et al. "Subcarrier Multiplexed Lightwave Systems for Broad Band Distribution." *IEEE J. Lightwave Technol.*, vol.7, no.9, pp. 1329-1341, 1989.
- [4] E. H. Hara and T. Ozeki. "Optical video transmission by FDM analog modulation." *IEEE Trans. Cable Television*, vol. CATV-3, no.4, pp.145-149, 1978.
- [5] T. E. Darcie. "Subcarrier Multiplexing for Multiple-Access Lightwave Networks." *IEEE J. Lightwave Technol.*, vol.LT-5, no.8, pp.1103-1110, 1987.
- [6] R. Olshansky and V. A. Lanzisera. "60-channel FM video subcarrier multiplexed optical communication system." *Electron. Lett.*, vol.23, pp. 1196-1197, 1987.
- [7] Ken-ichi Sato. "Intensity Noise of Semiconductor Laser Diodes in Fiber Optic Analog Video Transmission." *IEEE J. Quantum Elec.*, vol.QE-19, no. 9, pp.1380-1391, 1983.
- [8] K. Petermann et al. "Semiconductor Laser Noise in an Interferometer System." *IEEE J. Quantum Elec.*, vol. QE-17, no.7, pp.1251-1256, 1981.
- [9] K. Petermann et al., "Noise and Distortion Characteristics of Semiconductor Lasers in Optical Fiber Communication Systems." *IEEE J. Quantum Elec.*, vol. QE-18, no.4, pp.543-555, 1982.
- [10] T. E. Darcie. "Subcarrier Multiplexing for Lightwave Networks and Video Distribution Systems." *IEEE J. Sel. Areas in Comm.*, vol.8, no.7, pp.1240-1248, 1990.
- [11] R. Olshansky et al. "Subcarrier Multiplexed Coherent Lightwave Systems for Video Distribution." *IEEE J. Sel. Areas in Comm.*, vol.8, no.97, pp. 1268 - 1275, 1990.
- [12] W. J. Miniscalco. "Erbium-Doped Glasses for Fiber Amplifier at 1500nm." *IEEE J. Lightwave Technol.*, vol.9, no.2, pp.234-250, 1991.
- [13] E. Desurvire et al., "Amplification of Spontaneous Emission in Erbium-Doped Single-Mode Fibers." *IEEE J. Lightwave Technol.*, vol.7, no.5, pp. 835-844, 1989.
- [14] I. M. I. Habbab et al., "Fundamental Limitations in EDFA-Based Subcarrier - Multiplexed AM-VSB CATV Systems." *IEEE J. Lightwave Technol.*, vol.11, no.1, pp.42-48, 1993.
- [15] E. Yoneda et al. "Erbium-Doped Fiber Amplifier for Video Distribution Networks." *IEEE J. Sel. Areas in Comm.*, vol.8, no.7, pp.1249-1256, 1990.
- [16] J. C. Daly. "Fiber Optic Intermodulation Distortion." *IEEE Trans. on Comm.*, vol.COM-30, no.8, pp.1954-1958, 1982.
- [17] B. Arnold. "Third Order Intermodulation Products in A CATV System." *IEEE Trans. on CATV*, vol.2, no.2, pp. 67-80, 1977.
- [18] J. A. Chiddix et al. "AM Video on Fiber in CATV Systems: Need and Implementation." *IEEE J. Sel. Areas in Comm.*, vol.8, no.7, pp.1229-1239, 1990.
- [19] T. E. Darcie et al. "Lightwave

- Subcarrier CATV Transmission Systems." *IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech.*, vol.38, no.5, pp. 524-533, 1990.
- [20] R. Olshansky et al. "Subcarrier Multiplexed Coherent Lightwave Systems for Video Distribution." *IEEE J.Sel. Areas in Comm.*, vol.8, no.7, pp. 1268 - 1275, 1990.
- [21] T. Tsuchiya et al., "Analysis and Design for Optical Video Transport /Distribution System with Video on Demand Service." *IEEE J.Lightwave Technol.*, vol.11, no.1, pp.106-115, 1993.
- [22] P. M. Wala, "A New Microcell Architecture Using Digital Optical Transport." 43rd Veh. Tech. Conf.,pp.585-588, 1993.
- [23] D. C. Cox, "Wireless Network Access for Personal Communications." *IEEE Comm. Mag.*, vol.30.12, pp.96-116, 1992.
- [24] R. Olshansky, "Subcarrier Multiplexed Broadband Service Network: A Migration Path to BISDN." *IEEE LCS Mag.*, vol.1, pp.30-33, 1990.
- [25] H. Ichikawa et al. "A Microcell Radio System with A Dynamic Channel Control Method." 43rd Veh. Tech. Conf.,pp.617-620, 1993.
- [26] C. Desem, "Optical Interference in Subcarrier Multiplexed Systems with Multiple Optical Carriers." *IEEE J.Sel. Areas in Comm.*
- [27] P. Shumate and R. Snelling, "Evolution of fiber in the residential loop plant." *IEEE Commun. Mag.*, vol.29, pp.690-674, 1991.
- [28] J. R. Stern et al., "Passive optical local networks for telephony applications and beyond." *Electron. Lett.*, vol. 23, pp.1255-1257, 1987.
- [29] W. A. Weeks and J. D. Jensen, "Evolution of fiber to the pedestal distribution architectures." *IEEE Int. Conf. Commun.*, Atlanta, GA, 1990.
- [30] R. Olshansky et al., "Subcarrier multiplexed Broad-Band Service Network: A Flexible Platform for Broad-Band Subcarrier Services." *IEEE J. Lightwave Technol.*, vol.11, no.1, Jan. 1993

筆者紹介

朴 鎮 雨

電子工學會 論文誌 1993年 12月號 參照

朴 時 佑

電子工學會 論文誌 1993年 12月號 參照

尹 玩 奎

1969年 10月 19日生

1993年 2月 고려대학교 전자공학과 학사

1993年 2月 고려대학교 전자공학과 석사과정

金 海 壽

1971年 8月 23日生

1993年 2月 고려대학교 전자공학과 학사

1993年 2月 고려대학교 전자공학과 석사과정