

論文2000-37TC-7-4

IMT-2000 & PCS 무선대역전송용 광 송수신기 제작 및 특성분석

(Fabrication and Characteristic Analysis of Optical Transceiver for Transmitting IMT-2000 & PCS Wireless Band)

金昌源* , 金曷植* , 吳潤濟* , 梁光鎭**

(Chang Won Kim, Byung Jik Kim, YunJe Oh, and Kwang Jin Yang)

요 약

본 논문에서는 SCM과 WDM방식의 아날로그 광 전송기술을 기반으로 IMT-2000 및 PCS 양 무선주파수대역 전송에 사용 가능한 광 송수신기의 구조를 제안하고 이의 제작에 관련된 여러 파라미터들을 분석하였다. 특히 송신부의 고주파 신호와 LD사이의 임피던스 정합회로는 시뮬레이션을 통해 최적의 성능을 도출하는 방법을 제안하였고, 또한 1.7GHz~2.25GHz 대역에서 광 링크의 gain이 0dB일 때, 광 링크의 gain flatness 및 noise floor가 각각 $\pm 1.5\text{dB}$ 및 -130dBm 인 결과를 얻었다.

Abstracts

In this paper, we proposed an fiber-optic transceivers based on the analog optical transmission techniques of incorporating the SCM (subcarrier multiplexing) and WDM (wavelength-division multiplexing) method, which can be used to transmission of IMT-2000 and PCS wireless frequency band and analyzed overall those parameters related with fabrication. Especially in the impedance matching network between RF signal and LD, we proposed the method of deriving optimal performance using simulation techniques. In the frequency band of 1.7GHz~2.25GHz, experimental data for the gain flatness and the noise floor of the optical link were also presented $\pm 1.5\text{dB}$ and -130dBm respectively when the link gain was 0dB.

I. 서론

최근의 이동통신 서비스는 급격한 수요 증가와 음성 및 데이터 전송에 대한 요구를 충족시키기 위하여, 제한된 주파수 대역을 최대한으로 활용할 수 있는 방법들이

연구되고 있다. 또한, 낮은 출력으로도 많은 가입자를 수용하고, 양질의 서비스를 제공하기 위하여 셀의 소형화가 진행되고 있다. 이러한 소형기지국의 증가는 가입자의 수요 및 양질의 서비스에 대한 요구를 충족시켜 줄 수 있지만, 초기의 투자비용이 지나치게 높다는 단점이 있다. 그러므로 저비용으로 다수의 기지국을 효율적으로 운용할 수 있는 광통신기술과 무선통신기술을 접목시킨 부 반송파다중(Subcarrier Multiplexing;SCM) 방식을 채용한 광 전송기술이 최근 부각 되고 있으며^[1], 이러한 광섬유를 이용한 아날로그 신호 전송은 전 세계적으로 1970년대 부터 연구되기 시작하여, 광 CATV와 광대역 종합정보통신망(Broadband Integrated Service Digital Network;B-ISDN) 시스템에 적용되었

* 正會員, 三星電子 通信研究所 光通信研究그룹
(Optical Comm. R&D Group, Telecomm. R&D Center, SAMSUNG ELECTRONICS CO.)

** 正會員, 三星電子 光電子 事業部
(Optoelectronics Division, SAMSUNG ELECTRONICS CO.)

接受日字:2000年1月20日, 수정완료일:2000年7月4日

시스템에 적용되었다.

국내에서는 1990년대에 들어서 이동통신분야의 음성 지역해소 및 셀 커버리지 확대를 위해 원거리 안테나(광 증계기)에 SCM 광 전송 기술이 도입되고 있다. 이러한 SCM 광 전송이란 무선주파수원(무선신호)의 캐리어(carrier)를 이용하여 전/광 변환기(E/O)의 광 캐리어를 변조함으로써 무선 주파수 캐리어를 광신호로 변환한 후 광섬유를 통해서 전송하는 기술이다. 이때 무선주파수의 캐리어가 광 캐리어에 대해 서브캐리어(subcarrier)로 동작한다. 그리고 광/전 변환기(O/E)는 수신된 광 신호를 무선주파수 신호로 복조한다. 전/광 변환방식은 크게 광원을 직접 변조하는 직접 변조방식과 외부 변조기를 이용한 간접 변조방식으로 나눌 수 있다^[2-3].

본 연구에서는 차후 수요가 예상되는 IMT-2000 표준기지국의 원거리 안테나에 활용될 뿐만 아니라 현재 서비스되고 있는 개인이동통신시스템(PCS)의 기지국(BTS : Base-station Transceiver System)에 공용할 수 있는 SCM 광 전송방식의 fiber optic transceiver를 제안하고 이와 관련된 광 링크 상의 여러 파라미터들을 분석하였다.

II. 광 링크 설계

표준기지국과 원거리 안테나 사이의 순·역 방향 무선신호를 전송하기 위한 광 링크는 직접 변조방식으로 고주파신호를 광신호로 변환하는 광 송신기와 이를 전송하는 광섬유 및 전송된 광 신호를 고주파신호로 변환하는 광 수신기로 구성되며^[4], 이와 같은 SCM 광 전송방식의 기본적인 링크구조를 그림 1에 나타내었다.

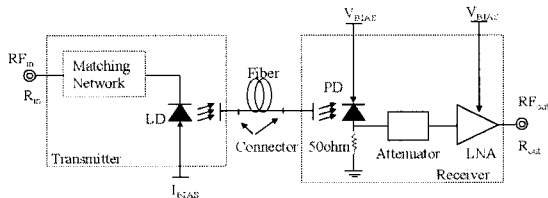


그림 1. 기본적인 광 링크 구조
Fig. 1. Block diagram of a basic RF fiber optic link.

이 광 링크는 순·역 방향 무선신호를 하나의 광섬유로 전송하기 위하여 송수신기가 일체형으로 된 transceiver형태로 구성하였다. 송신기의 임피던스 정합

범위는 주파수대역이 1.7GHz~2.25GHz로 550MHz의 넓은 대역폭을 가져 IMT-2000 및 PCS 서비스가 모두 가능하도록 설계하였다.

송신기(transmitter)는 광원인 LD(laser diode), LD에 전류를 공급하는 바이어스 회로 및 임피던스 정합 회로로 구성되며, 수신기(receiver)구조는 50 부하 방식의 광 수신기를 채택하였다. 송신기의 임피던스 정합 회로는 고주파 신호와 LD 사이의 불필요한 전력의 손실을 피하기 위한 것이며 또한 시스템의 신호 대 잡음비(S/N)를 향상시키는 역할을 한다^[5]. 이 정합회로의 설계는 LD의 변조특성에서 발생하는 기생효과(parasitic)를 결정하는데 중요한 요소인 산란계수(S-parameter: S11)를 Network Analyzer(HP8703A)에서 얻은 후 시뮬레이션 프로그램(HP ADS : Advanced Design System)을 이용하여 정합회로를 설계하였다. 이러한 목적으로 채용된 LD는 각각 파장이 1310nm 및 1550nm인 동일한 회사 제품으로 측정된 산란계수는 서로 매우 유사한 값을 보였다. 결국 하나의 정합회로 설계로 각기 다른 파장의 LD에 적용이 가능하였다. 설계시 수동소자의 조합으로 설계된 정합회로의 반사 특성인 반사계수(S11)는 그림 2와 같이 주파수 1.7GHz~2.25GHz범위에서 S11이 -20dB이하로 정합 되도록 설계하였다. 그리고 송신기의 전원은 transceiver의 전원인 단일 전원(+12Volt)이 인가되고, LD의 광 출력을 고려하여 인가되는 전류량을 조절하도록 바이어스 회로를 설계하였다.

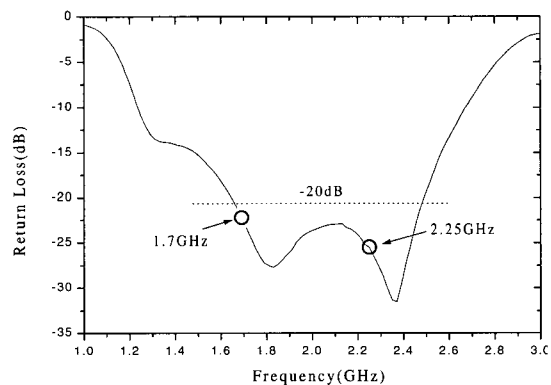


그림 2. 설계된 정합회로의 return loss 특성
Fig. 2. Simulated return loss of the matching network.

수신기에서는 수신되는 광 신호를 고주파신호로 변

환하는 포토다이오드 및 미약한 전기 신호를 원하는 레벨까지 증폭시키는 저 잡음 광대역 증폭기(Wide Band Low Noise Amplifier; LNA)로 구성된다. 이 증폭기의 이득은 광 링크상의 전/광 변환(E/O) 및 광/전 변환(O/E) 과정에서 발생하는 고주파 손실을 보상하는데 사용되며 광 링크의 이득을 원하는 레벨로 조절할 수 있도록 감쇄기를 사용한다. 그리고 수신기설계에 필요한 광 링크의 이득(손실)을 아래 식 (1)을 이용하여 예측하여 보았다⁶⁻⁷⁾.

$$G_{Link,RF} = 20\log(\eta_{Tx,RF} \times \eta_{Tx,RF}) - 2L_{Optical} + 10\log(R_{out}/R_{in}) \quad (1)$$

$$G_{Link,RF} = 20\log(0.11\text{mW/mA} \times 0.45\text{mA/mW}) - 2 \times 2.2 + 0 \quad (2)$$

고주파 신호가 송신기와 수신기를 거치면서 발생하는 광 링크의 이득(or 손실)은 식 (1)과 같이 표현할 수 있다. 식 (1)에서는 광 링크의 이득은 송신기의 전/광 변환효율($\eta_{Tx,RF}$), 수신기의 광/전 변환효율($\eta_{Rx,RF}$), 광 손실($L_{Optical}$) 및 입/출력 임피던스비(R_{out}/R_{in}) 항목으로 나타난다⁶⁾.

실험에 사용된 LD는 DFB(Distributed FeedBack) LD이며 변조효율(conversion efficiency)이 0.11mA/mW로 실험적으로 측정되었다. 이것은 다른 종류의 DFB LD에 비해 변조효율은 낮으나 선형성을 고려하여 선택하였다. 이때 LD의 변조효율(conversion efficiency)이 송신기의 전/광 변환효율($\eta_{Tx,RF}$)과 같다고 하면 전/광 변환효율은 0.11mW/mA이 된다. 그리고 변조광이 고주파전류로 변환되는 수신기의 광/전 변환효율($\eta_{Rx,RF}$)은 1550nm 파장에서의 포토다이오드의 응답도(responsivity)가 0.9 mA/mW 일 때 50% 부하 방식의 수신기에서는 0.45mA/mW로 얻어진다. 설계한 광 링크구조에서 전송되는 광 손실은 광섬유 컨넥터에서 2개×0.5dB/개와 WDM coupler에서 2개×0.6dB/개로 총 광 손실($L_{Optical}$)은 2.2dB로 나타낼 수 있다. 또한 마지막 항 임피던스 비(R_{out}/R_{in})는 입출력의 임피던스를 50Ω과 유사하거나 동일하게 두면 비가 1에 근사하게 되어 이득변화에 영향을 주지않게 된다. 위에서 구해진 값들을 식 (1)에 대입하면 -30.5dB의 광 링크이득을 얻을 수 있다. 이와 같이 구해진 링크이득으로 실제 광 링크를 구현 시 수신기에 적용되는 증폭기의 개수 및 이득을 예측할 수 있었다.

그림 3은 transceiver의 내부구성을 보이고 있다. 내

부에는 송신기 및 수신기로 구성되며 LD의 출력광을 일정하게 유지하기 위한 자동출력조정기(Automatic Power Controller ; APC) 및 transceiver의 동작상태를 감시하는 감시회로(monitor,alarm)로 구성된다. 이 감시회로는 송신기의 LD 동작상태 및 수신기에 도달하는 광의 세기를 모니터할 수 있다. 또한 두개의 서로 다른 파장을 이용하여 하나의 광섬유로 양방향통신이 가능하게 하는 WDM (Wavelength Division Multiplexing)방식의 통신이 가능하도록 되어있다.

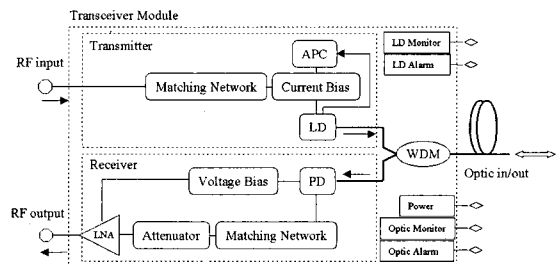


그림 3. Transceiver의 내부구성
Fig. 3. Functional block diagram of the transceiver module.

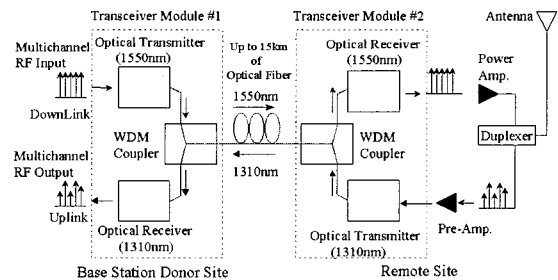


그림 4. 단일 광 섬유를 이용한 up/down 광 중계 시스템
Fig. 4. An optical repeater system using the transceivers.

그림 3과 같이 구성된 transceiver를 이용하여 지구 시스템에 적용할 때는 그림 4와 같이 구성할 수 있다. 두개의 transceiver는 각각 표준기지국(BTS)쪽과 원거리에 있는 안테나인 remote쪽에 설치된다. 순방향 채널은 표준기지국에서 출력된 고주파 신호가 적정 레벨로 변환되어 전/광 변환기인 송신기에서 광신호로 변조되어 광섬유를 통하여 remote쪽의 수신기에 전달된다. 전달된 광 신호는 광/전 변환되어 원래의 고주파신호로 복조된 뒤 고전력 증폭기(High Power Amplifier; HPA)에서 증폭되어 duplexer를 통해 안테나로 전달된

다. 역 방향채널은 remote쪽의 안테나를 통해 단말기로 부터 수신된 고주파신호는 duplexer를 경유하여 증폭기 에서 적당한 신호레벨로 조정된 후 송신기에 입력되어 전/광 변환 된다. 이 변조된 광 신호는 광섬유를 통해 기지국의 donor쪽에 실장된 수신기에서 초기의 고주파 신호로 복조된다. 광 링크의 연장에 따른 고주파 손실 은 각 수신기 뒤 단에 증폭기를 증설하여 이득을 보상 할 수 있다. 이와 같은 전송거리 증가는 광 링크의 잡 음지수를 증가시키므로 이에 따른 전송거리 제약이 주 어진다.

III. 측정 결과 및 검토

위에서 논의한 설계를 바탕으로 제작된 transceiver 는 그림 5에 보였으며, 제작된 2대의 transceiver로 광 링크를 구성하여 특성을 측정하였다. 송신기에 사용된 LD는 반사광 차단기(optical isolator)가 내장된 각각 파 장이 1310nm 및 1550nm인 온도 보상이 되지 않은 DFB LD 이다. LD의 상대강도잡음(relative intensity noise)은 -145dB/Hz이고 최대 광 출력은 5mW이내 었다. 그리고 LD 정합회로에서는 LD의 입력 임피던스가 50Ω 보다 작기 때문에 정합회로 제작시 설계를 기준 으로 수동소자와 마이크로 스트립라인(microstrip line) 을 이용하여 정합시켰다.

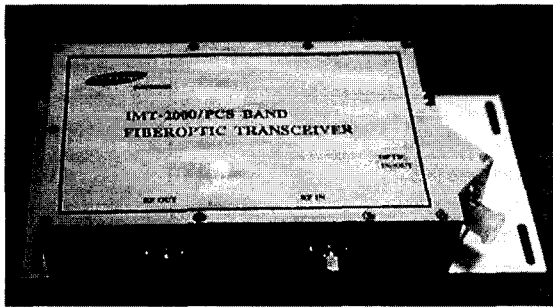
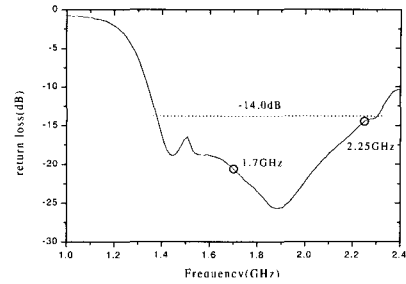


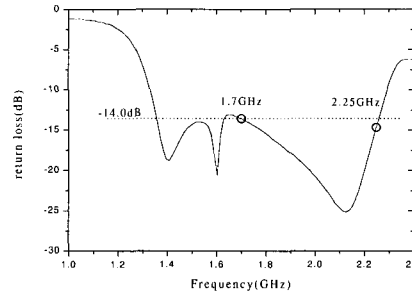
그림 5. 제작된 transceiver의 외형(185×86×28mm)
Fig. 5. Photograph of the fabricated transceiver module(185×86×28mm).

그 결과 초기 정합회로설계에서는 그림 2와 같았으나 실제 제작된 각 송신기의 정합 회로의 반사특성은 그림 6의 (a)와 (b)로 각각 나타났다.

반사특성이 설계 치와 다른 원인은 LD 장착 및 PCB 제작 등의 복합적인 기생성분으로 인해 형태가 달라졌



a) 1310nm 송신기의 return loss특성



b) 1550nm 송신기의 return loss특성

그림 6. 송신기의 return loss특성

a) Measured return loss of the 1310nm transmitter

b) Measured return loss of the 1550nm transmitter

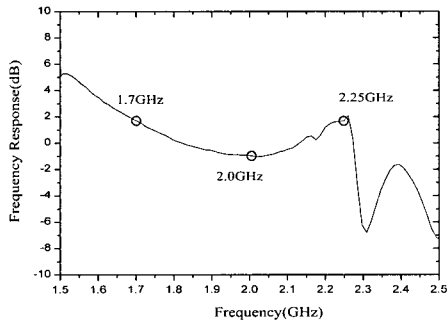
Fig. 6. Return loss of the transmitters.

으나 관심 주파수 대역에서 정재파 비(VSWR)가 1.5:1 이하로 정합 되었음을 볼 수 있다. 이 정합회로는 설계를 기준으로 입력손실을 줄이기 위하여 콘덴서 및 인덕터로 정합회로를 6단으로 구성하였다. 그리고 사용된 소자 값들은 설계된 값과 거의 일치하였다. 매칭회로가 필수적으로 요구되는 LD의 경우 소자의 반사특성을 측정 한 후 이 값을 이용하여 매칭회로 설계를 구성하는 방법이 특정대역을 매칭하는 방법으로 적절함을 알 수 있었다.

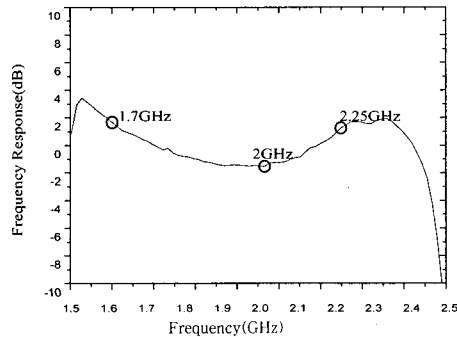
송신기는 50Ω 부하 방식으로 선형성이 뛰어나고 넓은 대역폭을 가지는 광대역 수신기의 구조를 가졌다. 수신기에 사용된 InGaAs 포토다이오드는 3dB 대역폭 (bandwidth)이 4GHz인 특성을 가지고 있다. 수신기의 동작은 다이오드에 역 바이어스가 인가된 상태에서 수신된 광이 포토다이오드에 입사하면 광의 세기에 비례 하는 전류가 포토 다이오드를 통해서 흐르게 된다. 이 전류는 다이오드와 병렬로 연결된 50Ω 저항에 의해 전압으로 변환되어 증폭기에 의해 증폭된다. 사용된 증폭기는 이득(gain)이 2GHz에서 +18.4dB인 저 잡음 증

폭기이며, 잡음지수 (NF:noise figure)가 2GHz에서 4.3dB 이다. 이와 같은 광대역 증폭기를 사용하여 링크 이득을 0dB로 맞추기 위하여 2개의 저 잡음 증폭기를 사용하였으며, 수동소자로 π 형 감쇄기를 구성하여 잔여 이득을 조정하였다. 이때 출력정합은 정재파 비를 기준으로 1.5:1 이하로 정합되었다.

제작된 transceiver을 back-to-back으로 구성하여 파장 1550nm링크에서 이득이 +18.4dB인 증폭기를 2개 사용하여 총 +36dB로 증폭하였을 때 링크의 최종 출력이 +6dBm이었다. 이득을 0dB로 맞추기 위하여 π 형 감쇄기를 이용하여 6dB의 감쇄를 주었다. 실제 제작된 링크의 삽입손실(insertion loss)은 -30dB이었다. 이것은 실험적으로 구한 이득(or 손실)과 계산된 이득 사이의 오차가 거의 없음을 나타낸다. 또한 1310nm파장의 광 링크 경우에는 1550nm 파장의 광 링크에 비해 약 ± 1.5 dB 가량 이득이 낮게 나타났다. 이것은 각 파장에 대한 포토다이오드의 효율 차이로 설명할 수 있다. 그리고 1310nm/1550nm 파장의 각 광 링크의 경우에 대하여 주파수에 따른 응답특성을 그림 7에 보였다. 이 응답특성은 1310nm 및 1550nm에 각각 평탄도가 ± 1.5 dB 이내로 나타났다.

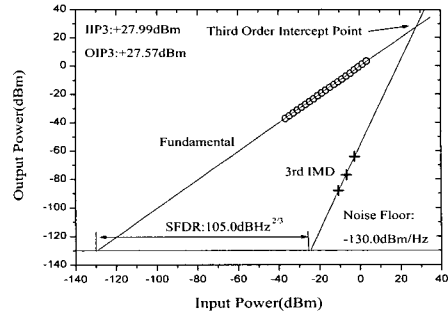


a) 1310nm 광 링크의 주파수응답특성

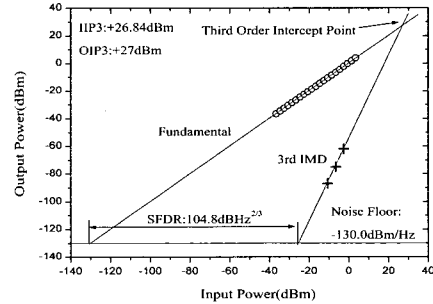


b) 1550nm 광 링크의 주파수응답특성

그림 7. 광 링크의 주파수응답특성
Fig. 7. Frequency response of the optical links.



a) 1310nm 광 링크의 고주파 출력특성



b) 1550nm 광 링크의 고주파 출력특성

그림 8. 광 링크의 고주파 출력특성

a) Input and output power characteristics of the 1310nm link

b) Input and output power characteristics of the 1550nm link

Fig. 8. Input and output power characteristics of the microwave optical links.

그림 8은 광 링크를 back-to-back으로 구현 후 측정 한 값들을 이용하여 그래프화 한 것이다. 550MHz대역 내에서 주파수 2GHz를 중심으로 주파수차가 1.25MHz 되는 두 주파수를 이용하여 2 tone 실험을 하였다. 이때 각 송신기에서 출력되는 광 출력은 2.5mW가 되도록 하였다. 고주파 입력 주파수가 각각 $f_1=1.999375000$ GHz

표 1. 광 링크의 실험결과

Table 1. Experimental Results of Optical Links.

	1310nm Optical Link	1550nm Optical Link
Gain	0.0dB	0.0dB
Gain Flatness	$< \pm 1.5$ dB	$< \pm 1.5$ dB
Noise Floor	-130dBm/Hz	-130dBm/Hz
SFDR	105.0dBHz ^{2/3}	104.8dBHz ^{2/3}
IIP3	+27.9dBm	+26.8dBm

이고 $f_2=2.000625000\text{GHz}$ 일 때 캐리어 주파수 (fundamental) f_1 에 대하여 $(2f_1-f_2)$ 의 주파수에서 발생하는 3rd IMD (inter-modulation distortion)을 측정하였다. 위의 그림 8을 기준으로 측정온도 25 °C에서 광 링크1310nm 및 1550nm의 gain, gain flatness, noise floor, SFDR 및 IIP3값을 측정하여 표 1에 나타내었다 [6][8].

이러한 광 링크구조에서 잡음지수를 측정장비를 이용한 측정이 불가능하여 식 (3)을 이용하여 예측해 보았다.^[9]

$$NF = 10\log(EIN_{\text{dBm/Hz}}/kT_0) \quad (3)$$

$$= EIN_{\text{dBm/Hz}} + 174\text{dBm/Hz} \quad (4)$$

이때 등가입력잡음(Equivalent Input Noise; EIN)은 식 (4)와 같이 표현할 수 있고, 식 (5)에서는 단위주파수당 측정된 값이므로 우측 둘째 항의 밴드폭에 의한 영향은 받지 않는다.

$$\text{Noise}_{\text{dBm/Hz}} = \text{EIN}_{\text{dBm/Hz}} + \text{BW}_{\text{dB/Hz}} \quad (5)$$

식 (3)에서 kT_0 은 -174dBm/Hz 로 주어지고, 식 (5)에서 EIN은 노이즈 레벨값($\text{Noise}_{\text{dBm/Hz}}$)과 동일한 -130dBm/Hz 의 값을 가질 수 있다. 이것으로 각 링크의 잡음지수는 약 44dB임을 예측할 수 있었다.

온도에 따른 고주파특성을 확인하기 위하여 2개의 transceiver를 back-to-back으로 연결하고 1310nm 송신기 및 1550nm 수신기가 포함된 transceiver를 oven 안에 설치하고 1550nm 송신기 및 1310nm 수신기가 포함된 transceiver를 실온에 배치하여 온도테스트를 실시하였다. 이 테스트는 donor쪽은 실온으로 유지된다는 가정하에 remote쪽이 외부온도의 영향을 받는 경우를 가정하여, 외부온도(오븐내)의 변화 범위가 -20°C 에서 $+60^\circ\text{C}$ 로 변할 때 링크의 이득 변화를 측정하여 그림 9에 나타내었다. 온도 변화에 따른 이득 변화는 상온에 비해 -20°C 에서는 +1.8dB, 60°C 에서는 4.2dB의 변화가 있음을 알 수 있었다. 이것은 LD가 온도보상이 되지 않아 동일한 LD의 광 세기에 대하여 LD의 변조효율(DC modulation gain)이 저온에서는 커지고 고온에서는 작아지게 되어 전/광 및 광/전 변환효율에 영향을 주기 때문이다. 이러한 온도에 따른 영향을 배제하기 위해서는 온도보상이 된 LD를 사용하면 보상시킬 수 있다.

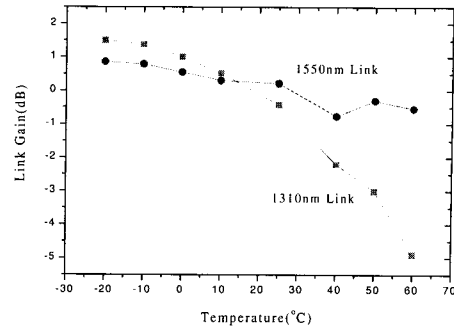


그림 9. 온도변화에 따른 이득변화

Fig. 9. Link gain variation against various temperature conditions.

VI. 결 론

본 연구에서는 이동통신분야의 음영지역해소 및 셀 커버리지 확대를 목적으로 원거리 안테나(광 중계기)에 적용하기 위하여 SCM 광 전송 기술을 개인이동통신시스템(PCS) 및 향후 서비스 예정인 차세대 이동통신(IMT-2000)시스템의 기지국에 도입하여 양 무선 주파수대역에서 공용 가능한 SCM방식의 WDM형 fiber optic transceiver 구조를 제안하고 제작에 따른 여러 파라미터를 이론적으로 분석하였다. 특히 아날로그 광 전송에 필요한 여러 파라미터 중 송신부의 고주파 신호와 LD사이의 임피던스 정합회로 구성 방법을 시뮬레이션을 통해 양 대역에서 정제파 비를 기준으로 1.5:1 이하로 정합하였다. 이 방법은 매칭 대상인 LD의 S-parameter를 측정하여 시뮬레이션을 통한 매칭구조를 구성하므로 원하는 대역의 매칭을 원활히 구성할 수 있었다. 그리고 두개의 transceiver를 이용하여 back-to-back으로 광 링크를 구성하여 1.7GHz~2.25GHz 대역에서 gain flatness, noise floor, SFDR 및 Noise Figure는 각각 $\pm 1.5\text{dB}$, -130dBm , $105\text{dBHz}^{2/3}$ 및 44dB(이론치)로 얻었다.

본 연구에서 제안된 transceiver는 전파음영지역을 해소하고 기지국의 통화 처리용량을 분산시키는 목적으로 상용화되어 운영되는 PCS용 광 중계기 시스템에 적용시킬 수 있을 뿐만 아니라 더욱이 광대역 특성을 가진 광접유를 이용해 3세대 이동통신 시스템인 IMT-2000 기지국 시스템에 공용으로 활용할 목적으로 광 transceiver제작에 필요한 여러 파라미터를 검토하는 연구로 상당히 의의가 깊다고 본다.

참 고 문 헌

- [1] Ichiro Ikushima *et al.*, High-Performance Compact Optical WDM Transceiver Module for passive Double Star Subcarrier Systems, J. of Lightwave Tech. Vol. 13, NO.3, pp. 517-524, 1995.
- [2] D. Wake, *et al.*, Microwave and millimetre-wave radio fiber, BT Tech., vol. 11, no. 2, pp. 76-88, 1993.
- [3] Yuji Aburakawa, *et al.*, Signal Extraction with Frequency Arrangement and Superimposed Modulation Schemes In Fiber-Oriented Wireless Access Systems, J. of Lightwave Tech., vol. 15, no. 12, pp. 2223-2231, 1997.
- [4] W.E.STEPHENS, *et al.*, System Characteristic of Direct Modulated and Externally Modulated RF Fiber-Optic links, J. Lightwave Tech., vol. LT-5, no. 3, pp. 380-387, 1987.
- [5] Hui-Pin Hsu, *et al.*, Fiber-Optic Link for Microwave Signal Transmission, SPIE., vol. 716, pp. 69-75, 1986.
- [6] Todd Olson., An RF and Microwave Fiber-Optic Design Guide, Microwave Journal, August, pp. 54-78, 1996.
- [7] W.E.STEPHENS, *et al.*, A 1.3um Microwave Fiber-Optic Link Using A Direct-Modulated Laser Transmitter, J. Lightwave Tech., vol. LT-3, no. 2, pp. 308-315, 1985.
- [8] Guillermo Gonzalez, Microwave transistor Amplifiers Analysis and Design, Prentice-Hall, 1984.
- [9] I. Koffman, *et al.*, High Speed Optic Link Short-Haul Microwave Applications, IEEE MTT-S Digest, vol. KK-4, pp. 983-986, 1988.

저 자 소 개



金昌源(正會員)

1990년 2월 : 영남대학교 물리학과 졸업(이학사), 1992년 2월 : 영남대학교 물리학과 졸업(이학석사), 1992년 2월~1997년 5월 : 센서기술연구소 선임연구원, 1997년 5월~현재 : 삼성전자 광통신연구그룹 선임연구원. 주관심분야: 광통신, 광 무선통신, 광회선분배기



金 晷 植(正會員)

1991년 연세대학교 물리학과 졸업. 1996년 연세대학교 대학원 물리학과 석사과정 졸업. 1996년~현재 삼성전자 통신연구소 연구원. 주 관심분야는 광통신용 송수신기 및 광 스위치임

梁光鎮(正會員) 第37卷 SD編 第3號 參照

현재 삼성전자 정보통신총괄 광전자 사업부 선임 연구원 근무

吳潤濟(正會員)

1985년 2월 : 연세대학교 물리학과(이학사), 1987년 2월 : 연세대학교 물리학과(이학석사), 1987년 2월~1991년 2월 : 연세대학교 물리학과(박사과정수료), 1991년 8월~1995년 5월 : 미국 Rensselaer Polytechnic Institute 물리학과 (이학박사), 1995년 5월~1996년 1월 : 미국 Rensselaer Polytechnic Institute 물리학과 post-doc, 1996년 2월~현재 : 삼성전자 통신연구소 (광통신연구그룹 그룹장), 주관심분야 : 광통신시스템, WDM Optical Network