

FSK/Heterodyne 변복조 방식에 의한 코히런트 광송수신 실험

Coherent optical transmission experiment using FSK modulation and heterodyne detection scheme

박희갑, 박경현, 이재승, 이용탁, 심창섭

한국전자통신연구소

<abstract>

A basic coherent optical transmission was demonstrated using FSK modulation and heterodyne detection scheme. Optical frequency of DFB LD light source at the transmitter side was stabilized with Fabry-Perot etalon and bias feedback circuit. A tunable external cavity LD was used as a local oscillator at the receiver. Heterodyned output signal at IF frequency of 2GHz was measured and discussed.

방식은 일본 미국 영국 등지에서 현장시험까지 진행한 단계이며, 일본의 경우 단일 채널 장거리 전송 시스템을 해저 전송에 2~3년 내에 적용할 계획이 있으며 코히런트 방식(또는 부분적 코히런트 방식)의 광 FDM(optical frequency division multiplexing)도 5~6년 내에 실용화 가능한 수준에 와 있다.⁽²⁾⁻⁽³⁾

본 연구에서는 코히런트 광전송 방식의 타당성과 기술적 난이도를 검증하기 위하여 초보적인 코히런트 광 송수신 실험을 수행하였다. 코히런트 광전송을 위한 필수적인 부분기술로서 광송신부에서의 광주파수 안정화 및 FSK 광변조(DFB-LD 직접변조)를 시도하여 향후 해결해야 할 문제점들을 도출하였으며, 수신부에서 광헤테로다인 검파하여 IF단에서의 beat spectrum을 관찰한 결과를 수록하였다.

I. 서론

사회의 발전 따라 가입자의 서비스 요구 수준도 높아지고 있으며, 이와 함께 통신기술의 팽목할 만한 발전에 힘입어 복합통신망인 ISDN와 조기 실현이 이루어지고 있다. 이러한 시대적 흐름에 발맞추어 광전송 기술도 이제까지의 강도변조/직접검파 방식으로부터 점차 코히런트 전송방식으로 이행되어 갈 것이다. 코히런트 광전송 방식은 높은 수신감도와 높은 주파수 선택도의 장점으로 인하여 잠재적으로 Tbps급의 막대한 전송용량(throughput)을 가지며 광파의 넓은 주파수 대역을 매우 세밀히 나누어 충분히 활용할 수 있으므로 궁극적인 광통신 기술로서 인식되고 있다.⁽¹⁾ 코히런트 광전송 방식은 선진국에서 80년대 초반부터 연구되기 시작하였으며 90년대 중반부터 상용화가 개시될 것으로 전망된다. 코히런트

II. 실험

1. 송신광원의 주파수 안정화

코히런트 방식의 송신광원으로 사용되는 DFB-LD는 온도 또는 주입전류의 미세한 변화에도 발진 주파수가 변화하므로 별도의 주파수 안정화가 반드시 필요하다. 발진 주파수를 안정화 시키는 방법은 기본적으로 어떠한 표준 주파수를 기준으로하여 안정화시키고자 하는 DFB-LD와의 주파수 차이를 감지하여 이 DFB-LD의 주입전류를 미세조절하는 것이다. 주파수 기준의 설정방식은 gas 상태의 원자나 분자의 흡수선 스펙트럼을 이용하는 방식, fiber ring resonator 방식, Fabry-Perot 간

설계를 사용하는 방식이 있다. 이 중에서 원자의 흡수선 스펙트럼 방식은 절대 표준 주파수로서 안정성은 있으나 활용할 수 있는 주파수 대역이 극히 한정되어 있다. 또한 fiber ring resonator는 주위 온도변화에 대해 매우 민감한 문제점이 있다. 따라서 Fabry-Perot 간섭계 방식이 보편적으로 활용성이 인정되며 원자 스펙트럼 방식과 병용하여 사용하면 상당한 정밀도로 주파수를 절대 주파수에 맞추어 안정화 시킬 수 있다.

본 실험에서는 Fabry-Perot etalon을 사용하였으며 etalon의 공진모드 주파수를 기준 주파수로서 활용하였다. (그림 1)은 주파수 안정화 실험의 개략도이다. 광원으로는 1535nm 파장의 DFB-LD를 사용하였으며 Peltier cooler와 temperature controller로써 LD의 온도를 ± 0.01 도 이내로 안정화 시켰다. (그림 1)에서와 같이 LD로부터의 빛이 렌즈와 isolator를 거쳐 beam splitter에서 나뉘어 빛의 일부가 온도 안정화된 oven 내의 Fabry-Perot etalon을 통과하게 된다. Fabry-Perot etalon의 광출력 변화(즉 주파수 변화)는 Ge-PIN PD로 검출되어 feedback control circuit을 거쳐 stabilized current source를 구동시켜 LD의 bias 전류를 미세 변화시킨다.

(그림 2)는 이러한 방식으로 얻은 주파수 안정화 실험의 결과로서 Fabry-Perot etalon으로부터의 광출력의 변화를 나타낸 것인데 안정화되어 있는 상태를 frequency locking이 off된 상태와 비교하여 나타내었다. 이때 LD의 주파수는 Fabry-Perot 공진기 모드 스펙트럼 peak의 반치부분의 주파수에 locking 시켰다. 따라서 (그림 2)의 종축의 scale은 LD의 주파수 변위에 대략적으로 비례한다. (그림 2)의 결과는 XY plotter로서 그린 것인데 plotter의 반응 속도보다 빠른 성분의 fluctuation이 안정화된 상태에서도 다소 존재함을 oscilloscope 화면상에서 관찰할 수 있었다. 이러한 미세한 fluctuation은 주파수 안정화를 위한 feedback의 bandwidth가 커야 하며 feedback이 충분히 빠른 속도로 이루어져야함을 나타낸다.

2. FSK 광변조 및 해태로다인 검파

DFB-LD의 발진 주파수는 주입전류에 따라 변화한다. 주입전류를 증가시키면 carrier가 증가하고 또한 열효과에 의해 온도가 높아지므로 발성층의 굴절율이 변화하여 이로 인해 공진 주파수가 변화한다. LD에 발진개시전류 이상의 dc bias 전류를 가한 상태에서 bias-tec를 사용하여 주입전류를 미소진폭으로 변조하면 광출력 강도를 거의 일정하게 유지한 채 주파수 변조된 광출력을 얻을 수 있다. 이처럼 FSK는 외부 변조기를 사용하지 않더라도 LD의 직접 변조가 가능하므로 매우 간편한 코히런트 광변조 방식이라 할 수 있다.

(그림 3)은 실험에 사용된 DFB-LD에 대하여 주입전류에 따른 파장의 변화를 측정한 것이다. 전류가 증가함에 따라 발진 파장도 증가 (주파수 감소) 하는데 파장 증가율은 $0.0045\text{nm}/\text{mA}$ 이며 주파수 감소율은 $0.57\text{GHz}/\text{mA}$ 로 측정되었다. 따라서 0.5GHz 정도 변조폭의 FSK 광변조를 위해서는 1mA 이하의 주입전류 변조로 가능함을 알 수 있다.

한편 LD를 FSK 변조 송신하기 위하여 signal generator로부터의 155MHz 신호를 bert transmitter를 거쳐 radom pattern을 얻었으며 이를 attenuator로 약화시켜 (그림 1)의 modulation input에 가하였다. 이때 LD의 dc bias 전류는 70mA 였다. LD 입력단의 attenuation을 변화 시키며 변조된 광출력의 광학적 스펙트럼을 Fabry - Perot 간섭계로써 측정하였으며 그 결과를 (그림 4)에 나타내었다. (그림 4)의 (a)는 변조하지 않은 경우이며 (b)와 (c)는 155Mbps 로 변조하되 변조신호의 진폭이 다른 경우이다. (b)와 (c)의 두 peak는 각각 mark와 space 성분의 주파수를 나타내는데 입력 변조 신호의 진폭이 증가함에 따라 이에 비례하여 mark와 space간의 주파수 차이가 증가함을 확인할 수 있었다. 한편 622Mbps 로도 변조하였는데 이 경우에는 155Mbps 경우보다 변조 효율이 떨어져 FM변조의 주파수 응답 특성이 균일하지 않음을 알 수 있었다.

수신단에서는 FSK 광신호의 복조를 위해서

는 헤테로다인 방식을 사용하였으며 실험장치의 개략도는 (그림 5)와 같다. Local oscillator로서 100nm 파장 범위에서 100 GHz에 걸쳐 연속 가변되는 tunable external cavity LD를 사용하였다. 50/50 광섬유 방향성 결합기를 사용하여 수신광과 local oscillator광을 결합하였으며 결합기의 출력단이 두 광섬유 단자 중 하나는 optical spectrometer로 정렬하여 local oscillator 주파수가 수신광 주파수에 측정 가능한 IF 주파수 범위내로 근접하도록 tuning 하는데 monitor 용도로 사용하였다. 결합기 출력단의 나머지 한 단자에서 5GHz 대역폭의 InGaAs - PIN PD로 받아 이를 증폭한 후 RF spectrum analyzer로 스펙트럼을 관찰하였다. (그림 6)은 IF 중심 주파수 2 GHz에서 헤테로다인 수신된 신호의 스펙트럼이다. 이때 송신단에서의 변조 조건은 (그림 4)의 (b)와 동일하다.

III. 결 론

코히런트 광전송 방식의 타당성과 기술적 난이도를 검증하기 위해 초보적인 FSK/Heterodyne 변복조 방식에 의한 코히런트 광수신 실험을 하였다. 송신광원으로 사용된 DFB-LD의 발진 주파수 안정화를 위해 Fabry-Perot etalon을 이용한 주파수 록킹 장치를 구성하여 발진 주파수의 long term drift를 제거하고 순간적인 주파수 변위폭을 1/5 이내로 안정화시켰다.

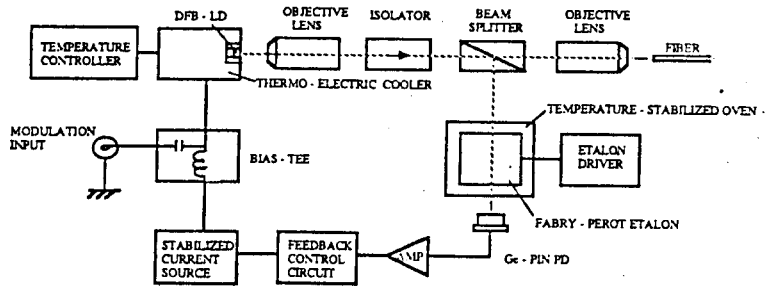
DFB LD에 대하여 주입전류에 따른 파장변화를 측정하여 0.57GHz/mA의 주파수 변조효율을 얻었으며 이를 155Mbps 전송속도의 FSK 변조에 적용했을 때 변조 전류에 비례하는 mark와 space 간의 주파수 차이를 얻었다. FSK 변조된 광신호를 극부 발진기로서 파장 가변 외부 공진기 LD와 heterodyne 시켜 두 광원의 광 주파수 차(beat 주파수)에 해당하는 2GHz의 중간 주파수(IF) 스펙트럼을 얻었다.

본 FSK/Heterodyne 코히런트 광수신 실험 결과 다음과 같은 기술적인 문제점이 먼저 극복되어야 함을 알 수 있었다. 먼저 광원의 발진 주파수 안정도를 더욱 높이는 문제로 현재의 주파수 록킹시스템에서 보다

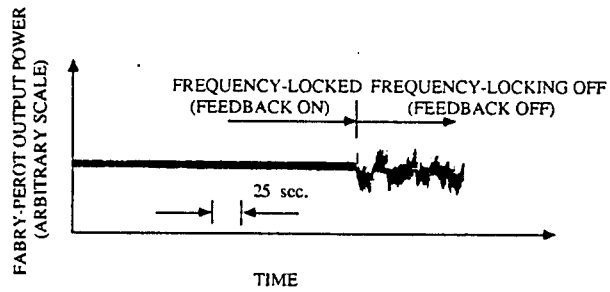
더욱 빠른 주파수 제환이 이루어 지도록 제환회로의 대역폭을 넓혀야 하며 광원의 변조속도를 높이기 위해서는 넓은 변조속도 범위에서도 평탄한 주파수 변환효율을 갖도록 LD 자체의 구조(예, 다중전극 DFB LD)에 대한 고려가 필요한 것으로 판단된다. 다음으로 극부 발진기로 사용된 파장가변 LD도 일정한 IF 주파수를 유지하기 위해 제환회로를 통해 신호광의 주파수를 일정한 주파수 차이로 tracking할 수 있도록 해야 한다. 이상에서 기술한 문제점이 선결되면 안정된 코히런트 광전송이 이루어 질 것으로 생각되며 그 시점에서 코히런트 광전송이 가지는 기존의 강도변조/직접검파 광전송에 대한 우월성을 충분히 밝힐 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

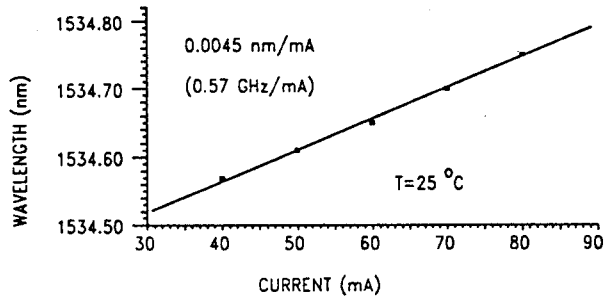
- (1) T. Kimura, "Coherent optical fiber transmission," J. Lightwave Tech., Vol.5, 414 (1987)
- (2) E. G. Bryant et al, "A 1.2Gbit/s optical FSK field trial demonstration," Br Telecom J., Vol.8, 18 (1990)
- (3) H. Toba et al, "100 channel optical FDM transmission/distribution at 622Mb/s over 50km," OFC'90, PD1-1 (1990)



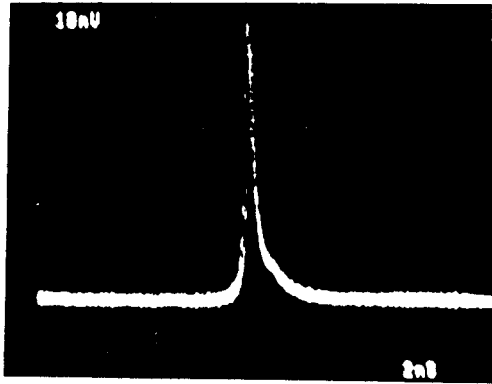
(그림 1) 송신 광원의 주파수 안정화 실험도



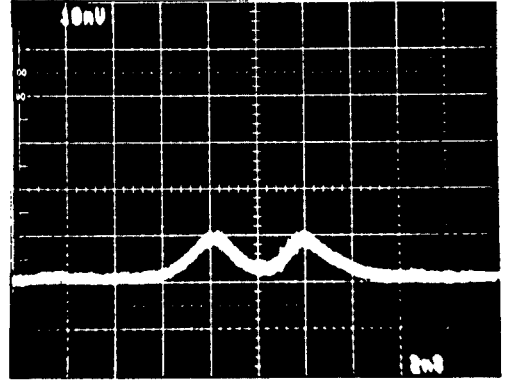
(그림 2) DFB LD의 주파수 locking 실험



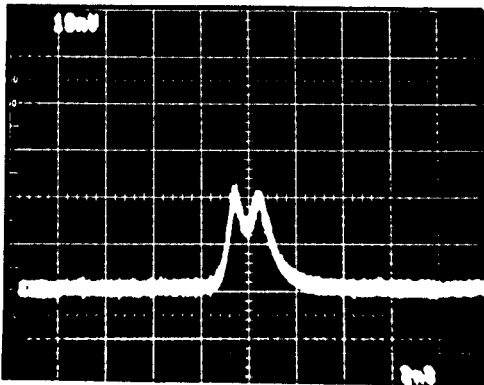
(그림 3) DFB LD의 주입전류에 따른 파장의 변화



(a) $\Delta f=0$ (무변조)

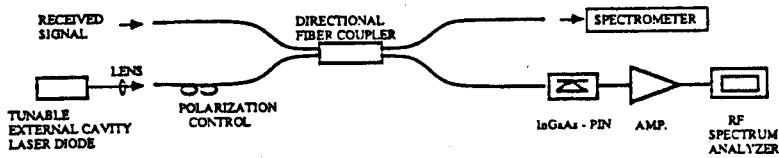


(c) $\Delta f=1.5$ GHz

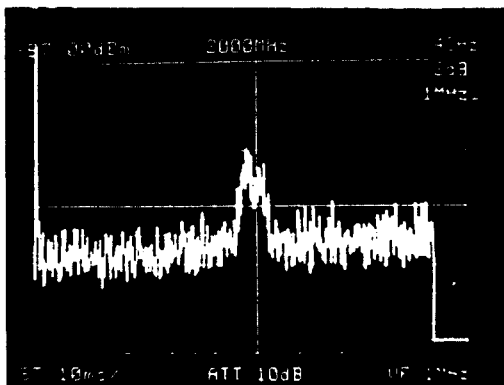


(b) $\Delta f=0.4$ GHz

(그림 4) Fabry-Perot 간섭계로 측정된 FSK 변조 광 스펙트럼
(변조속도: 155Mbps, Δf : mark와 space간 광주파수의 차, 수평축: 0.75 GHz/div.)



(그림 5) 광 헤테로다인 검파 실험도



(그림 6) 헤테로다인 방식으로 검파된 FSK 광신호의 IF 대역 스펙트럼
(변조속도: 155Mbps, $\Delta f=0.4$ GHz, IF 중심 주파수= 2 GHz, 수평축: 0.4 GHz/div.)