

다중서비스를 위한 광대역 아날로그 피드포워드 광 송신기의 상호 변조왜곡 및 잡음 특성

Intermodulation Distortion and Noise Characteristics of Broadband Analog Feedforward Optical Transmitter for Multi-service Operation

문 연 태*, 장 준 우, 최 운 경, 최 영 완
(Yon-Tae Moon, Jun Woo Jang, Woon-Kyung Choi and Young-Wan Choi)

Abstract: 디지털용 Uncooled DFB 레이저 다이오드를 이용하여 광대역 아날로그 피드포워드 광송신기를 제작하였다. 광송신기의 상호변조왜곡 성분 및 잡음성분을 제거하기 위해 광 피드포워드 보상기법을 사용하였으며, 다중서비스를 위해 2.05~2.60 GHz(550 MHz)에서 상호 변조왜곡 성분이 10 dB 이상 억제되었고, 상대강도잡음은 1.5 dB 이상 억제되었다. 2.3 GHz 에서 3 차 상호변조왜곡성분이 21.3 dB, SFDR 이 7.11 dB 향상된 결과를 얻었다. 또한 단일 모드 광섬유 전송 실험을 통해 전송길이에 따른 3 차 상호변조 왜곡성분의 크기변화를 확인하였다.

Keywords: Radio-over-Fiber, analog optic link, Feedforward compensation technique

I. 서론

초고속 광대역 통신망에서 정보 전달의 고속성, 병렬성, 대용량성을 보장하는 광통신 기술과 가입자의 이동성을 보장하는 무선통신 기술은 핵심적인 역할을 담당하며 경쟁적인 기술 관계로 발전해 왔다. 최근 들어 유무선 통합형 통신에 대한 사회적, 경제적 요구가 증대되고 있다. 유무선 통합형 RoF(Radio-over-Fiber) 기술의 기본적인 개념은 광대역, 저 손실의 광통신 기술과 이동성의 장점을 가진 무선통신 기술을 결합한 기술로서 Central Station (CS)에서 전송 데이터로 변조된 마이크로파 대역의 반송파를 광신호로 변환하여 광섬유를 통해 정보를 전송하는 아날로그 광 링크와 광섬유를 통해 수신된 신호를 무선으로 전달하는 무선 링크로 구성된다.[1] CS 와 BS 간의 네트워크는 광대역 전송이 가능한 광섬유와 광통신 기술을 이용하고, BS 와 가입자간은 마이크로 셀룰러(Micro Cellular) 네트워크를 구성한다. 건물 내에서는 하나의 기지국과 다수의 피코셀로 구성되는 DAS (Distributed Antenna System)을 두어 건물내의 무선 커버리지를 확대하고 있다. 시스템에서 송수신되는 RF 신호는 CS 에서 Demultiplexing 과 Signal processing 이 되며 아날로그 광섬유 링크를 통해 전송된다. 이때 높은 선형성을 갖는 아날로그 전광/광전 변환기는 시스템 성능을 좌우하기 때문에 시스템 구축시 중요한 요인으로 자리 잡고 있다.

최근 다양한 Wireless Standard 들을 광섬유에 실어 전송특성을 검증하는 연구들이 진행되고 있는데, 광대역의 전계흡수변조기(EAM)와 높은 선형성을 갖는 Distributed Feedback (DFB) 레이저 다이오드 이용한 pluggable analogue optic module 로 개발하여 멀티 서비스들에 대한 전송특성을 평가한 논문들이 발표되었다.[2][3] 하지만 기 발표된 논문들은 무선 규격에 맞는 높은 성능을 보임에도 불구하고 외부변조기를 사용함에 따라 추가적인 광원이 필요하다는 점과 높은 선형성을 갖는 고가의 레이저 다이오드를 제작해야 하는 문제점을 안고 있다. 시스템 구축에 있어서 송신기 가격은 가장 중요한 요소이기

때문에 멀티서비스가 가능한 광대역의 광송신기 제작이 요구되고 있다. 다양한 서비스들을 동시에 전송할 수 있는 subcarrier multiplexed (SCM) 시스템 구축을 위해서 uncooled 와 unisolated 인 디지털용 레이저 다이오드를 사용하고 직접변조 방식을 이용하고자 한다. 상용으로 판매하고 있는 디지털용 레이저 다이오드는 아날로그 신호 전송에 있어 아날로그용 레이저 다이오드보다 선형성 및 주파수 응답특성이 좋지 않은 문제점이 있다. 이러한 문제를 극복하기 위해서 선형화 기법을 통해 레이저 다이오드의 선형성을 높이고자 한다.

광전자 선형화 기법에는 선 왜곡기법과 피드포워드 보상기법이 주로 연구되고 있다. 멀티 서비스를 위한 저가의 광대역 아날로그 선 왜곡기법 회로는 레이저 다이오드의 하모닉 성분과 상호변조 왜곡성분을 제거하기 위해 연구되었지만, 2 GHz 이하의 주파수대역에서만 광대역 동작이 가능한 단점이 있다. 이에 비해 피드포워드 기법은 높은 주파수 영역에서 왜곡성분들을 제거할 수 있으며, 또한 상대 강도잡음을 제거할 수 있다. 기 보고된 광 피드포워드 보상기법은 신호상쇄루프에서 반전증폭기와 결합기를 사용하였으나, 본 논문에서는 180 도 하이브리드 커플러를 사용하여 넓은 영역에서 동작하는 광송신기를 제작하였다.[4]

본 논문은 Uncooled DFB 레이저 다이오드의 상호변조 왜곡신호와 잡음을 제거하기 위해 광 피드포워드 보상기법을 사용하였다. 레이저 다이오드들의 동작전류에 따른 왜곡성분과 잡음성분의 변화를 확인하였고, 광송신기의 최적화된 동작전류를 결정하였다. 광송신기는 투톤 실험을 통해 3 차 상호변조왜곡성분의 억제량을 측정하고, 더불어 잡음의 억제량을 측정한다. 또한 SFDR(Spurious-Free Dynamic Range) 을 송신기의 성능에 대한 평가지표로 측정한다. RoF 링크에서 신호전달을 위한 채널은 단일모드 광섬유의 전송거리에 따른 3 차 상호변조왜곡성분의 크기를 측정하고 분석한다.

II. 실험 방법

1. 광대역 피드포워드 시스템의 블록 다이어그램

그림 1 은 광대역 피드포워드 보상기법의 블록 다이어그램을 보여준다. 제안된 선형화 기법에서 RF 부품은 RF 전력분배기, RF 감쇄기, RF 증폭기, 180° 하이브리드 커플러, 전기적 지연선으로 구성되며 180° 하이브리드 커플러를 제외하고 PCB (Printed Circuit Board) 기판 위에 제작되었다. 광부품은 레이저 다이오드, 포토다이오드와 광 커플러로 구성된다. PCB 기판 위에 레이저 다이오드의 RF 입력부분과 바이어스-티(Bias-T) 사이는 광대역으로 매칭 되었으며, 포토다이오드 RF 출력부분과 RF 증폭기 사이 또한 광대역 R/L/C 매칭을 하였다. 광원은 디지털용 DFB 레이저 다이오드들로 파장이 1549.5 nm(LD₁), 1549.12(LD₂)로 0.48 nm 의 차이가 난다. 각각의 레이저 다이오드는 14 mA, 13 mA 로 동작을 시켰으며, 광 전력은 -5.3 dBm, -5.8 dBm 으로 측정되었다. 광 커플러는 6:4 비율을 갖는 제품을 사용하였으며, polishing 타입이 APC(angled physical contact) 타입인 것을 사용하여 역 반사된 광 전력을 줄였다.

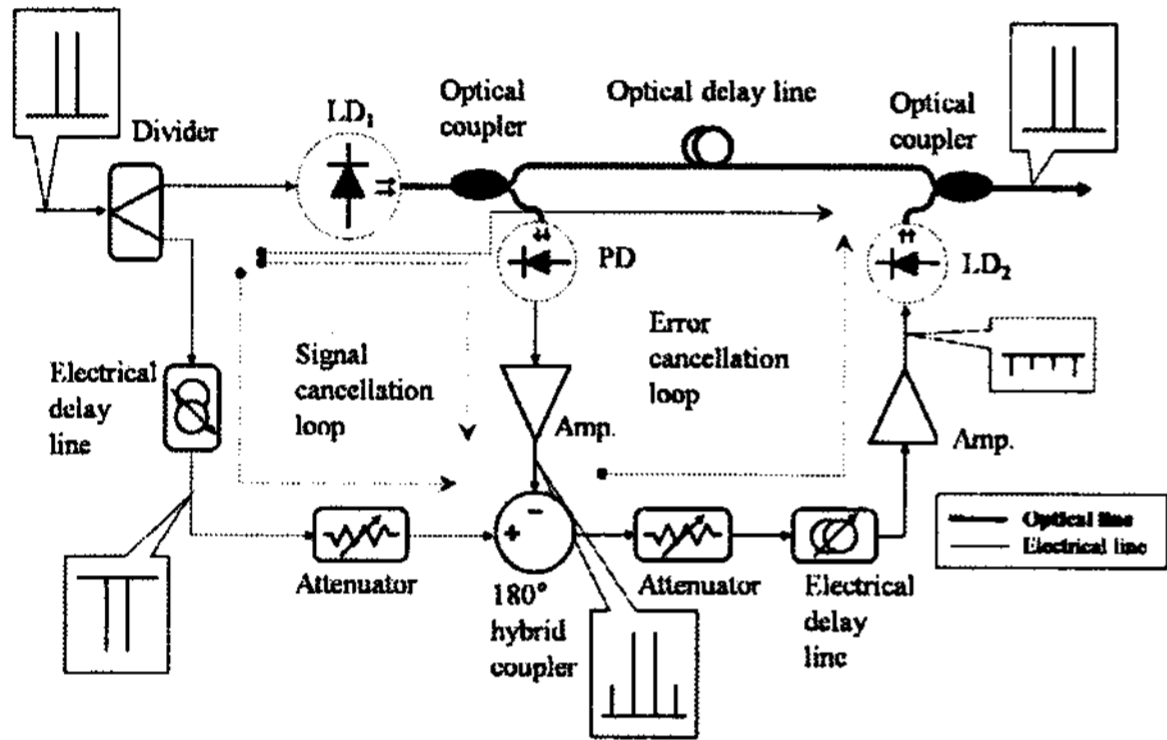


그림 1. 광대역 피드포워드 보상기법의 개략도

III. 결과 및 논의

1. 광대역 상호변조왜곡 억제특성

광대역 전송시스템에서 동시에 여러 캐리어 주파수들의 선형성을 향상시키는 광송신기 제작이 요구되고 있다. 그림 2 는 2.0 GHz 에서 2.7 GHz 까지 제작된 광송신기의 광대역 선형성을 확인하기 위한 결과이다.

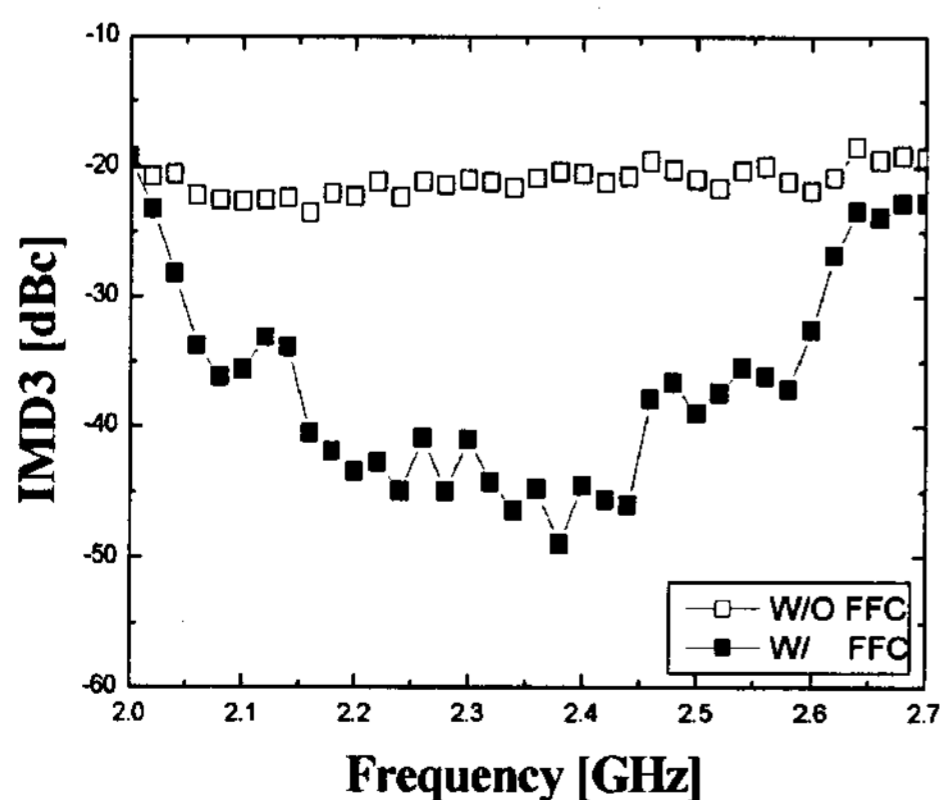
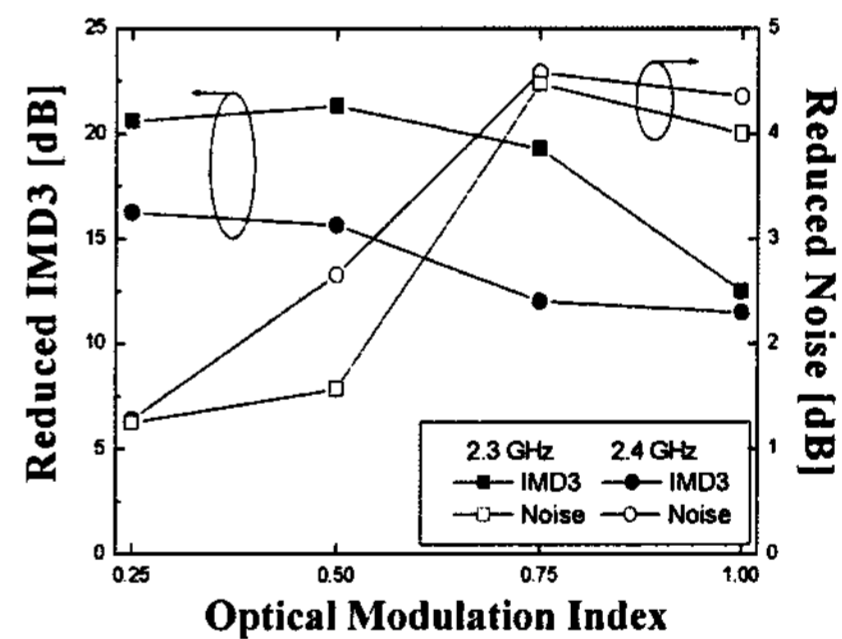


그림 2. 선형화 기법에 따른 3 차 상호 변조왜곡의 특성비교

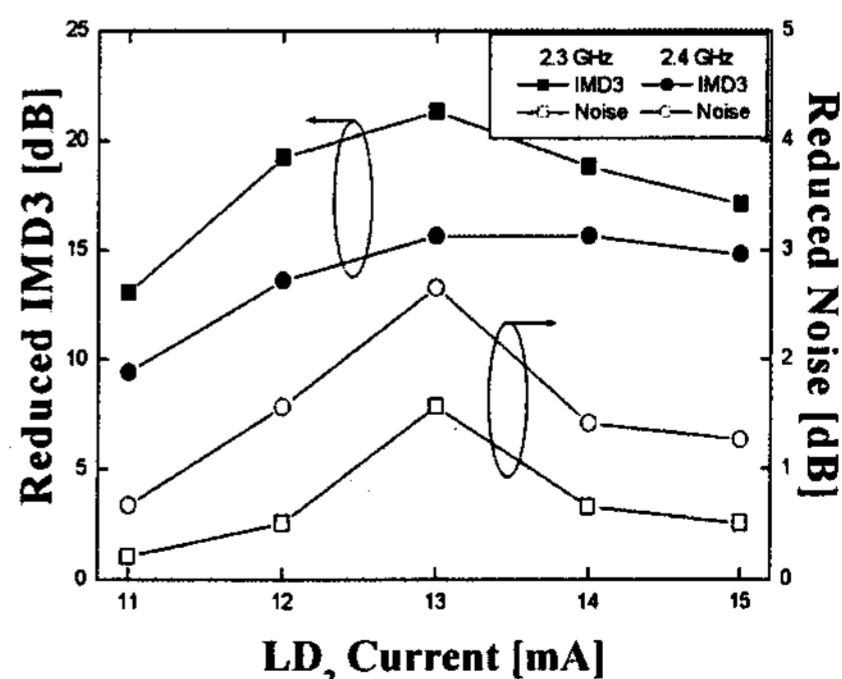
입력 RF 전력은 0 dBm 이고, 채널 간격은 1 MHz 로 고정하였으며 주파수 간격은 20 MHz 로 설정하였다. 선형화 기법을 사용하지 않은 결과에서 선형화 보상기법을 사용해 측정한 결과의 차를 보면, 10 dB 이상 억제하는 주파수 영역은 550 MHz(2.05~2.60 GHz)이고, 20 dB 이상 억제하는 주파수 영역은 280 MHz(2.18~2.46 GHz)로 넓은 대역에서 상호 변조왜곡성분이 억제됨을 알 수 있다.

2. 동작전류에 따른 상호 변조왜곡과 상대강도잡음

그림 3 의 (a)는 LD₁ 의 광변조지수에 따른 상호 변조왜곡 성분과 노이즈 성분의 변화를 보여준다. 입력 RF 전력을 -3 dBm 으로 고정하고, LD₁ 의 바이어스 전류를 문턱 전류에 가깝게 줄이면 광변조지수가 증가하게 된다. 이때 3 차 상호 변조왜곡 성분은 다른 변조지수에 비해 적게 억제되지만, 노이즈는 4 dB 이상 억제가 됨을 알 수 있다. 이는 동작 전류가 문턱전류에 가깝게 바이어스 되면 spontaneous emission 에 의한 영향으로 상대강도잡음이 증가되어 더 많은 잡음을 억제할 수 있다. 광변조지수가 작아지면, 바이어스 전류는 커지게 되고, 상호변조 왜곡의 억제량은 15 dB 이상 증가하지만, 노이즈는 1 dB 만 억제되는 실험결과를 얻을 수 있다. 그림 2 에서 얻은 결과로 LD₁ 의 바이어스 포인트를 14 mA 로 고정하고 LD₂ 의 바이어스를 변화 시켜 상호 변조왜곡 성분과 잡음 성분의 억제량을 측정한 결과는 그림 3 의 (b)에 나타난다. 측정 결과를 보면, LD₂ 의 바이어스 전류는 13 mA 일때 상호 변조왜곡 성분과 잡음 성분이 가장 크게 억제됨을 알 수 있다.



(a)



(b)

그림 3. (a) 광변조지수와 (b) LD₂ 의 전류량에 따른 3 차 상호변조 왜곡 및 상대강도 잡음 억제량

3. 3차 상호 변조왜곡 성분과 SFDR

그림 4는 2.3 GHz에서 측정된 투톤 실험결과이다. RF 전력은 -3 dBm 이고, RF 신호의 주파수는 2.300 GHz 와 2.308 GHz 로 채널간격은 8 MHz 로 고정하였다. 피드포워드 보상기법을 적용하여 IMD3는 21.3 dB 향상된 결과를 얻었으며, 상대강도 잡음은 1.57 dB 향상된 결과를 얻을 수 있었다. SFDR은 2.3 GHz에서 보상기법을 적용하여 측정된 SFDR은 86.84 dB/Hz 로 보상기법을 사용하지 않은 결과인 79.73 dB 보다 약 7.11 dB 향상된 결과를 가져왔다.

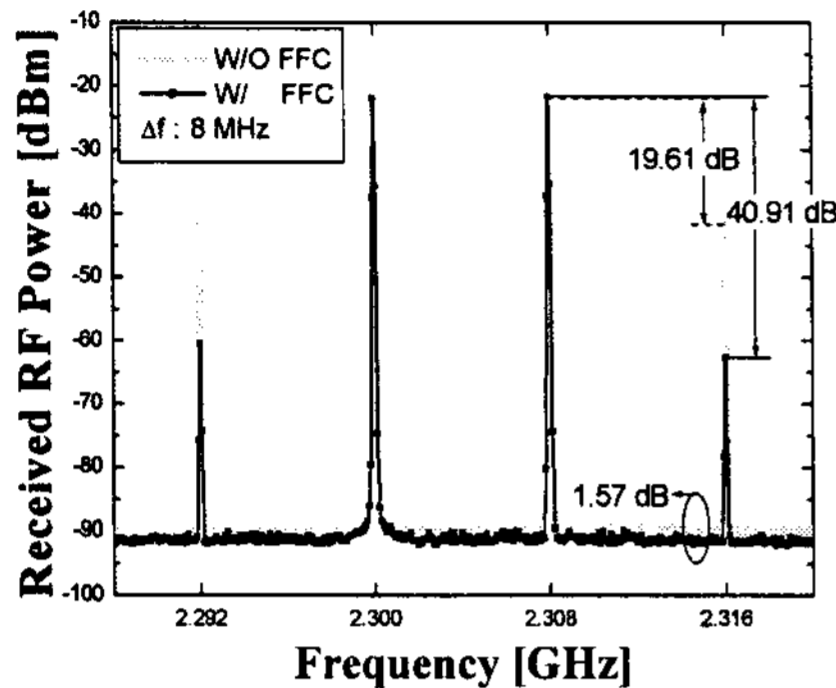


그림 4. 2.3 GHz에서 투톤 실험 결과(채널 간격 8 MHz)

단일모드 광섬유의 전송실험에서 IMD3의 억제량은 길이에 따라 줄어들게 된다. 단일모드 광섬유의 Dispersion에 기인하여 신호의 지연차이가 발생하게 되어 8 km부터는 억제량이 없어지게 된다. 하지만 모의실험에 따르면 IMD3의 성분이 주기적으로 억제됨을 알 수 있다.

IV. 결론

본 연구에서는 피드포워드 보상기법을 이용하여 un-cooled DFB 레이저 다이오드의 왜곡성분과 잡음성분을 제거할 수 있는 광대역 아날로그 광송신기를 제작하였다. 광 변조지수와 LD₂의 동작 전류를 가변하여 최적의 성능을 낼 수 있는 광송신기의 바이어스 조건을 결정하였다. 피드포워드 선형화 기법을 사용함으로써 550 MHz(2.05~2.60 GHz)에서 상호 변조왜곡성분이 10 dB 이상, 상대강도잡음이 1.5 dB 이상 향상된 결과를 얻었다. 2.3 GHz에서 3차 상호 변조왜곡성분이 21.3 dB, SFDR이 7.1 dB 향상된 결과를 얻었다. 직접 변조하는 레이저 다이오드와 RF 부품의 주파수 응답 특성을 개선한다면 앞으로 전개될 4G의 다양한 서비스들을 하나의 광송신기로 전송할 수 있는 저가의 시스템을 구현할 수 있을 것이다.

참고문헌

[1] Cutrer, D.M., et al., "Dynamic Range Requirements for Optical Transmitter in Fiber-fed Microcellular Networks" *IEEE Photonic Technology Lett.*, Vol. 7, No. 5, pp.564-566, 1995
 [2] P. Hartmann, A. Bothwell, R. Cronin, K. Leeson, A. Loveridge, D. C. Parkinson, J. W. Ure, R. V. Penty, I. H. White, and A. J. Seeds, "Wideband fibre-agnostic DAS using pluggable analogue opti-

cal modules," International Topical Meeting on Microwave Photonics 2006, P5,

[3] P. K. Tang, L. C. Ong, B. Luo, A. Alphones, and M. Fujise, "Transmission of multiple wireless standards over a radio-over-fiber network," *Microwave Symposium Digest, 2004 IEEE MTT-S International*, vol. 3, pp. 2051-2054, June, 2004.
 [4] L. S. Fock and R. S. Tucker, "Simultaneous reduction of intensity noise and distortion in semiconductor lasers by feedforward compensation," *Electron. Lett.* vol. 27, no. 14, pp. 1297-1299, July, 1991.

문연태



2005년 중앙대학교 전자전기공학부(공학석사). 2005년 ~ 현재 중앙대학교 일반대학원 박사과정 재학 중. 관심 분야는 Analog optical system, Feedforward linearization, Optical Device(Photodetector, Modulator)

장준우



2006년 중앙대학교 전자전기공학부(공학사), 2006년~ 현재 중앙대학교 일반대학원 석사과정 재학 중. 관심 분야는 Analog optical system, Feedforward linearization, Analog circuit design.

최운경



2004년 중앙대학교 전자공학부(공학석사). 2004년~현재 중앙대학교 전기전자공학부 박사과정 재학 중. 관심분야는 광로직 프로세서, 광 스위칭 시스템 및 소자.

최영완



1987년 SUNY at Buffalo, 전기 및 컴퓨터공학과(공학석사). 1992년 SUNY at Buffalo, 전기 및 컴퓨터공학과(공학박사). 1992년 ~ 1995년 한국전자통신연구원(ETRI), 선임 연구원. 1995년 ~ 현재 중앙대학교 전자전기공학부 교수. <주관심 분야: Microwave-Photonics, Optical interconnection, 광스위칭 시스템 및 소자>