특집 | 광 연결(Optical Interconnection)

광배선 기술의 현황과 전망

김경헌*, 이승걸*, 오범환*, 박세근*, 강진구*, 최영완**, 이일항*

최근에 마이크로 프로세서 및 정보신호 처리 기술의 급격한 발전으로 전자소자 및 모듈, 보드간 등에 사용되는 기존의 전자식 배선에서의 한계성이 부각되면서 광 배선 기술에 대한 관심이 높아지고 있다. 본 글에서는 이러한 광 배선 기술에 대한 현재 기술의 현황과 더불어 향후 전망에 대해 소개를 하고자 한다.

1. 서론

반도체 집적회로 기술의 급격한 발전으로 최근에 들어와 개별 전자칩 구조의 크기는 나노급 크기로 줄어 들면서 마이크로 프로세서의 클럭 신호 속도는 이미 수 GHz를 넘어서고 있으며, 이에 따르는 고속의 신호 배선 기술이 주목을 받고 있다. 표 1에 보여지는 바와 같이 향후 마이크로 프로세서의 동작 속도는 수십 GHz 대로 발전을 할 것으로 전망되며[1], 이에 따르는 전자소자들간의 고속 신호 전송에 있어서 기존의 전기적 배선 방법에 따르는 시간 지연, 신호 왜곡, 전기적 간섭 등의 문제가 더욱 심각해지고 있다. 이러한 문제에 대한 해결 방안으로 여러 연구기관들에서 광학적인 배선 방법에 대한 다양한 접근이 시도되고 있는 상황이다[2-4].

그림 1에 보여지는 바와 같이 광배선 기술에 대한 광범위한 해석으로는 통신기기간의 장거리 전송을 포함할 수 있으나, 좁은 의미로는 정보기기의 랙(Rack) 및 선반간 배선과 보드간 배선, 칩간 배선, 칩내 배선 들의 4가지 범주로 나누어 고려될 수 있다. 장거리 및 도시간, 근거리용 광배선 기술로 다양한 광통신 기술이 이미 많은 진전을 이루어 상용화된 상황이며, 기기간 및 랙간 광섬유 배선에 대한 기술은 정보기기업체들로 구성된 표준화 기구를 통해 상당한 진전이 이루어져 일부 실용화가 이루어지고 있고 한편으로는 후속 기술들이 개발되고 있는 상태이다[5,6]. 더욱이 근래에 들어와 인터넷의 활성화에 의한 고속 및 대용량 서버 및 컴퓨팅 기기와 네트워크로 연결된 지식 정보의 저장에 대한 수요 증가에 따른 대용량 데이터 저장 장치들간의 고속 정보 전송을 위한 배선 기술에 대한 수요가 점점 커져가고 있다. 이러한 정보 기기들의 대용량화와 고속화에 걸맞은 차세대 기술로써 보드간 광배선 및 칩간 광배선, 칩내 광배선에 대해서는 아직 연구개발 수준에 있으며, 이에 따르는 다양한 기술적 접근에 대

표 1. 국제 반도체 기술 로드맵(ITRS) - 2004년판[1]

ITRS Technology Nodes and Chip Capabilities				
	2004	2007	2010	2018
DRAM Half-Pitch(nanometers)	90	65	45	18
DRAM Memory Size(gigabits)	1	2	4	32
DRAM Cost / Bit(micro-cents)	2.7	0.96	0.34	0.021
Microprocessor Physical Gate Length (nanometers)	37	25	18	7
Microprocessor Speeds(GHz), On-chip clock	4.2	9.3	15.1	53.2
Microprocessor Speeds(GHz), Chip-to-board(off-chip) speed	2.5	4.9	9.5	56.8

* 인하대학교
** 중앙대학교

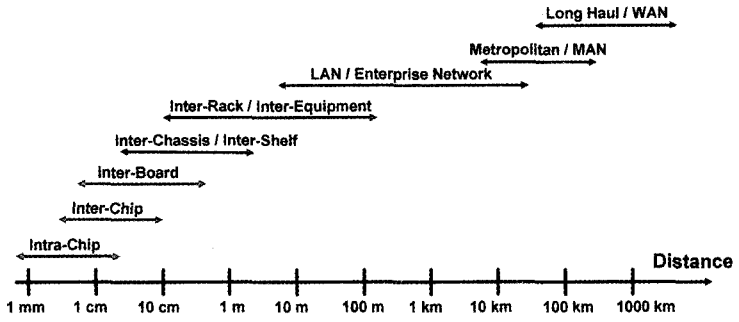

그림 1. 정보 기기간 및 소자간 거리에 따른 신호 배선.

해서 서술해 본다.

2. 보드간 및 칩간 광배선

컴퓨터 I/O 포트 및 보드간 연결로 기존의 FR4 소재의 기판상에 구리선을 이용하는 방식에서 전송 속도가 10 GHz 이상으로 증가하면 표면효과(skin effect)에 의해 신호 전송 손실이 급격히 증가하게 된다. 그림 2에서는 20-inch 길이의 전기 배선 링크에 대해 신호 주파수의 증가에 따른 손실을 계산 결과를 보여주고 있으며[2], 전송 속도가 10GHz인 경우에 대해서는 약 50dB 이상의 손실이 있음을 나타내고 있다. 근래에 들어와 새로운 기판 소재에 의한 전기 배선 속도 특성이 향상된 기술에 대한 시도도 보고되고 있으나, 아직은 성능 향상의 한계와 더불어 가격이 비싼 점이 있어 광배선 기술과의 비교 우위에서 상호 대립적인 면이 있다. 1m 이하의 보드간 점대점(point-to-point) 및 점대다점(point-to-multipoint) 고속 백플레인(backplane) 배선에서 광배선 기술이 낮은 신호간섭과 넓은 대역폭을 제공해 줄 수 있으나, 아직까지는 실용화하기에는 광 소자들의 저가격화, 집적화, 낮은 소모 전력 특성 등에 있어서의 기술적인 혁신이 필요하다. 그림 3에 보여지는 바와 같이 전기배선과 광배선과의 배선 길이에 따른 파워 소모량의 비교를 보면 아직 현재 기술 수준의 광배선 기술로는 약 50cm 이내의 배선 길이에 대해서는 장점을 가지지 못하고 있다[7]. 당분간의 보드간 및 기기간의 광배선 기술은 리본 광섬유와 다중 터미널 커넥터를 이용한 그림 4와 같은 확장성이 있는 공유 메모리형 다중프로세서용 광배선 구조를 위한 배선 기술로 활용이 가능하고, 짧은 길이에 대한 광 배선의 장점을 확보하기 위해서는 저전력 소모형 광소자들과 더불어 광배선에 따르는 광손실을 줄일 수 있는 획기적인 기술 방안이 필요하다.

3. 칩내 광배선

표 1에서 보여진 바와 같이 조만간 마이크로프로세서의 칩내 동기신호 속도는 10GHz 이상으로 높아질 전망

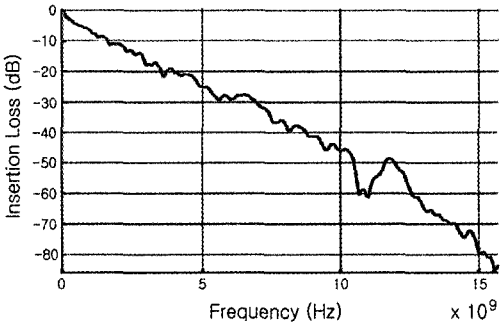

그림 2. 전기배선에서의 전송 속도에 따른 신호 손실[2].

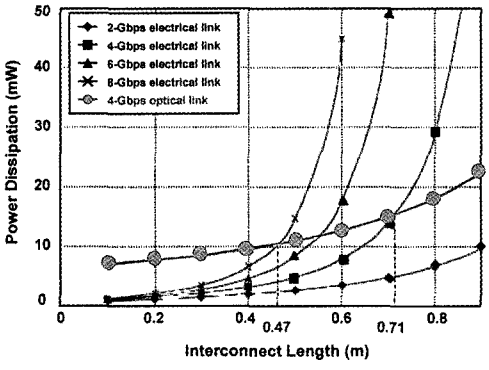

그림 3. 전기배선과 광배선에서 배선 거리에 따른 파워 소모량[7].

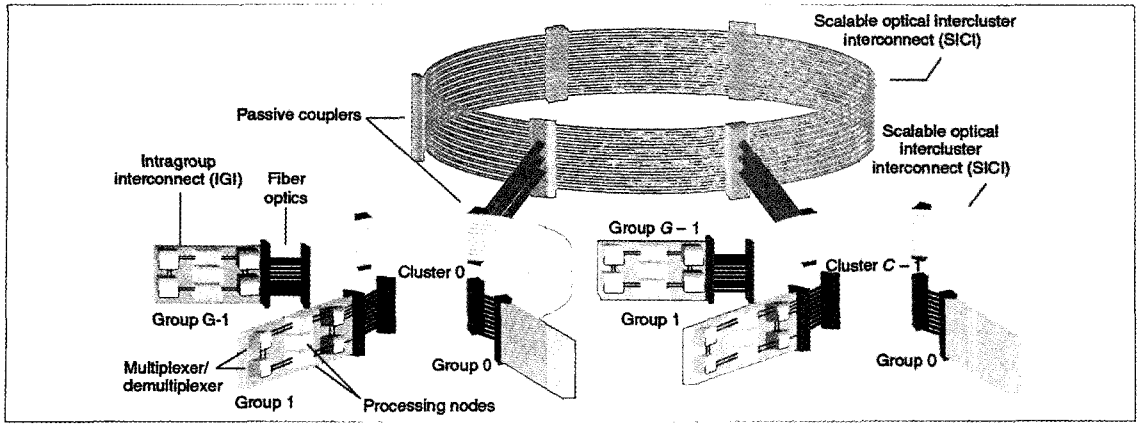

그림 4. 확장성이 있는 공유 메모리형 다중프로세서용 광배선 구조도[7].

이며, 이에 따라 칩 전체적으로 개별 소자들간의 고속 동기 신호를 공유하는 데 있어 기존의 전기적 배선 기술의 난이도가 높아진다. 특히 마이크로프로세서 칩내 국부적인 부분의 고속 동기화에는 전기적 배선이 여전이 유리한 점이 인식되고 있으며, 광역 동기 신호 배분에 있어서는 광배선 기술의 중요성이 부각되고 있다[8]. 그림 5에 보여지는 바와 같이 광역 동기 신호 분배는 광도파로와 광수신기를 이용한 방법으로 구현하고, 국부적인 동기 신호는 전기적으로 구현 구도를 보여주고 있다[9].

칩내 광배선을 위해 실리콘 기반 광소자 기술로 SiGe 광검출기, 절연체상의 실리콘(Silicon-on-insulator)을 이용한 광변조기 및 브레그 격자(Bragg grating), 그리고 실리콘 광도파로에서 일어나는 라만 효과를 이용한 실리콘 라만 레이저들에 대한 연구들이 활발하게 이루어지고 있다[4,10,11]. 특히 실리콘 기반의 광자소자들은 기존의 전자집적회로와의 집적화가 용이한 장점으로 근래에 들어와 이 분야의 연구가 각광을 받고 있는 상황이다. 특히 실리콘이 기존의 광통신 파장대인 1.3~1.6 마이크론에서 투과성이 높아 이 파장대에서의 효율적인 광원 개발이 요구되고 있다. 효율적인 광원 개발을 위해 실리콘 레이저 광원 개발과 더불어 3-5족 화합물 반도체를 이용한 표면방출레이저(VCSEL), 광자결정형 마이크로 레이저 들에 대한 연구도 이루어지고 있다. 아울러 광도파로 손실을 줄이기 위한 도파로 표면이 깨끗한 구조와 더불어 광수신기의 파워 소모를 줄이기 위한 전기용량이 작은 광검출기 구조 및 개선된 구동 회로에 대한 기술 개발 노력도 이루어지고 있다. 광도파로 회로의 소형화 및 고집적화를 위한 광자결정형 광 도파로 기술에 대한 연구도 이루어지고 있으나, 아직까지 광손실을 줄일 수 있는 획기적인 기술 개발이 필요한 상태이다.

칩내 고속 동기 신호 분배에 있어서 기존의 전기적 배선에 비해 광배선은 주위 채널에 대한 전기적 간섭을 받지 않고 고속 광대역 특성을 가질 수 있는 점이 있다. 그러나 이러한 광학적 동기 신호 분배 방법에 있어서 단일 파장 신호 방식은 전기적 방식 보다는 유리한 점이 부각되지 못하고 있으며, 파장분할다중 동기신호 방식이 향후 전기적 동기신호 분배 방식보다 유리한 가능성이 제시되고 있다[12]. 이에 따르는 초소형 및 집적형 파장가변 광원 또는 다파장 광원, 광 다중 및 역다중화 소자, 광 필터들에 대한 연구들이 필요한 상황이다.

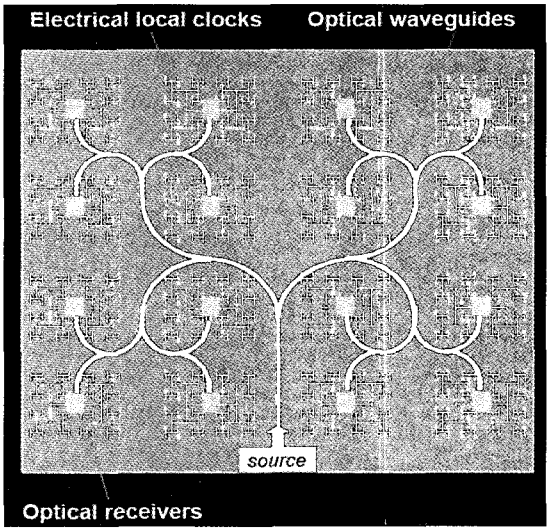

그림 5. 칩내 동기신호 분배 배선도[9].

4. 국내외 기술 개발 현황

미국의 주요 컴퓨터 및 서버 업체들인 Compaq, IBM, Hewlett-Packard, Intel, Microsoft, and Sun Microsystems 중심으로 구성된 표준화 기구인 InfiniBand Trade Association를 통해 2~250m 길이의 다중모드 광섬유를 이용한 채널당 2.5Gbps 및 10Gbps급 광섬유 배선 규격을 정해 오고 있으며, 아울러 현재의 총 배선 용량이 30Gbps급에서 향후 60Gbps 및 120Gbps급의 배선 규격으로 발전시켜가고 있다[6]. 단일 채널 뿐만 아니라 4채널 및 12채널급 광섬유 리본 케이블과 커넥터를 이용하여 스위치 및 라우터, 고성능 컴퓨터 간의 대용량 광배선 기술에 대한 규격화가 이루어지고 있다.

신기술 개발로서는 IBM과 Agilent의 연합 팀은 미국 DARPA의 지원 하에 2차원 VCSEL 어레이와 광검출기 어레이를 이용하고 각 채널당 10~15Gbps 급으로 테라비트급 신호 버스 "Terabus" 광배선 시스템 개발을 추진하고 있다[13]. 이 배선 기술 구현에는 일부 광도파로 기판의 사용이 검토되고 있는 것으로 보고되고 있다. 한편 Agilent와 Univ. Southern California 연합 팀에 의해서는 4채널 파장분할다중화를 이용하고 채널당 10Gbps와 12가닥의 다중모드 광섬유를 이용한 광배선 기술에 대한 연구가 진행되어 오고 있다[14]. 그 외 Intel, MIT, Stanford, Georgia Tech. 등의 여러 기관들에서 실리콘 광자소자 기술과 더불어 다양한 패키징 기술, 마이크로 광소자, 광도파로 소자, 커넥터 기술 들에 대한 연구가 진행되고 있다.

일본의 NTT, Advantest Corp., NEC 들을 비롯하여 여러 산업체 및 연구소, 대학 연구실과 더불어 유럽의 여러 연구 기관을 중심으로 저 소모전력 및 집적화가 용이한 개별 광소자와 더불어 패키징 기술, 광도파로 소자 기술, 집적화, 광배선 기술 들에 대한 다양한 연구가 진행되고 있다.

국내에서는 광배선에 대한 연구가 인하대학교 집적형 광자기술센터(OPERA)와 더불어 ICU, ETRI, 전자부품연구원, KAIST, 삼성전기, LG전자 등에서 광배선 기술과 더불어 광도파로기판, 패키징 기술, 광소자 기술들에 대한 연구가 추진되어 오고 있다. 과기부의 우수연구센터 지원사업의 일환으로 운영되고 있는 인하대학교 집적형광자기술센터에서는 차세대 광배선에 필요한 핵심 요소 기술의 개발과 관련 응용 기술 개발이 이루어지고 있다. 주요 연구로는 광배선용 기판에서의 손실을 최소화할 수 있는 광도파로 커플링 구조에 대한 연구와 더불어 고집적형 광자결정 광도파로 소자, 마이크로 링형 광 필터, 광도파로 소자 제작 및 식각, 광 도파로 소자 측정, 광소자 구동용 집적회로, 광 도파로용 폴리머 광소재, 광도파로 응용 기술에 대한 연구가 진행되고 있다[15].

5. 결론 및 전망

정보통신 기술의 발전에 따라 정보기기간 및 칩간 배선에서의 정보 전송 속도의 증가가 예상됨에 따라 전기적인 배선 기술의 발전과 더불어 광배선 기술의 발전이 전망된다. 그림 6에 보여지는 바와 같이 랙간 배선 이상의

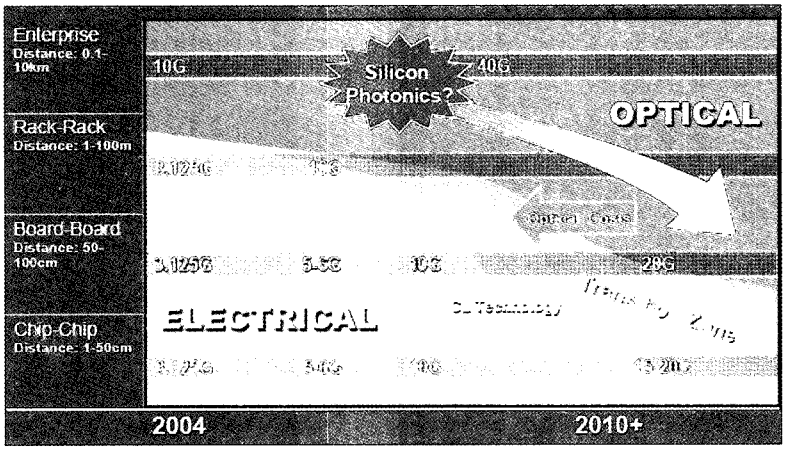

그림 6. 전기적 배선과 광배선 기술의 발전 전망[4].

거리에 대한 고속 신호 배선에서는 이미 광배선이 실용화가 이루어진 상태이나 보드간 및 칩간, 칩내 배선에서는 기존의 전기적 배선 기술의 발전도 이루어지겠지만, 광배선 기술의 대두가 예상된다. 광배선 기술의 실용화를 위해서는 광소자들의 집적화 및 저 소모 전력, 저가격화 고기능화가 확보되어야 한다. 특히 신호 전송 속도가 10GHz 이상으로 높아지면서 광배선 기술의 장점이 부각되고 있으며, 아직까지도 광소자들의 집적화 및 저 소모 전력, 저가격 구조 기술의 발전이 요구되고 있다. 이러한 추세에 맞추어 광소자 들의 저손실화, 집적화, 소형화, 고속화 등의 기술의 확보가 중요해 지고 있으며, 광소자 구동용 집적회로의 고효율 및 고기능 특성의 확보와 더불어 광소자와의 집적화 기술이 칩내 및 칩간 광배선의 실용화 가능성을 높이리라고 기대된다.

참고문헌

[1] The ITRS 2004 Update at http://public.itrs.net.

[2] E. Mohammed, A. Alduino, T. Thomas, H. Braunisch, D. Lu, J. Heck, A. Liu, I. Young, B. Barnett, G. Vandentop, and R. Mooney, "Optical Interconnect System Integration for Ultra-Short-Reach Applications," *Intel Technol.* J., 8(2), 115(2004).

[3] T. N. Theis, "The Future of Interconection Technology," *IBM J. Res. Develop.*, 44(3), 379(2000).

[4] MIT Microphotonics Center Industry Consortium, 2005 Communications Technology Roadmap.

[5] D. M. Kuchta, Y. H. Kwark, C. Schuster, C. Baks, C. Haymes, J. Schaub, P. Pepeljugoski, L. Shan, R. John, D. Kucharski, D. Rotgers, M. Ritter, J. Jewell, L.A. Graham, K.Schrodinger, A. Schild, H.-M. Rein, "120-Gb/s VCSEL-Based Parallel-Optical Interconnect and Custom 120-Gb/s Testing Station," *J. Lightwave Technol.*, 22(9), 2200 (2004).

[6] Refer to InfiniBand Standardization Document & Technology Overview at http://www.infinibandta.org/.

[7] A.K. Kodi and A. Louri, "Design of a high-speed optical interconnect for scalable shared-memory multiprocessors," *IEE Mircro*, pp.41-49(Jan.-Feb., 2005).

[8] P. Herve and S. Ovadia, "Optical Technologies for Enterprise Networks," *Intel Technol. J.*, 8(2), 73 (2004).

[9] I. O' Connor, F. Gaffiot, F. Mieyeville, G. Tosik, F. Tissafi-Drissi, and M. Briere, "Optical Solutions for System-Level Interconnect(Invited Talk)," SLIP ' 04(15 Feb., 2004).

[10] M. Salib, L. Liao, R. Jones, M. Morse, A. Liu, D. Samara-Rubio, D. Alduino, and M. Paniccia, "Silicon Photonics," *Intel Technol. J.*, 8(2), 143 (2004).

[11] H. Rong, R. Jones, A. Liu, O. Cohen, D. Hak, A. Fang, and M. Paniccia, "A continuous-wave Raman silicon laser," *Nature* 433, 725-728 (2005).

[12] M.J. Kobrinsky, B.A. Block, J.-F. Zheng, B.C. Barnett, E. Mohammed, M. Reshotko, F. Robertson, S. List, I. Young, and K. Cadien, "On-Chip Optical Interconnects," *Intel Technol. J.*, 8(2), 129 (2004).

[13] D.M. Kuchta, D. Kucharski, Y. H. Kwark, R. John, and C. Schuster, "100 Gb/s VCSEL-Based Parallel Optical Links," (invited paper), OECC2005, Seoul, Korea(July 6, 2005).

[14] B. E. Lemoff, M. E. Ali, G. Panotopoulos, E. de Groot, G. M. Flower, G. H. Rankin, A. J. Schmit, K. D. Djordjev, M. R. T. Tan, A. Tandon, W. Gong, R. P. Tella, B. Law, L.-K. Chia, and D.W. Dolfi, "Demonstration of a Compact Low-Power 250-Gb/s Parallel-WDM Optical Interconnect," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 17(1), 220(2005).

[15] E. -H. Lee, S. G. Lee, B. H. O, S. G. Park, K. H. Kim, J. K. Kang, I. Chin, Y. K. Kwon, Y. W. Choi, "Micro/Nano-Scale Fabrication of Integrated Polymer Optical Wire Circuit Arrays for Optical Printed Circuit Board(O-PCB) Application," SPIE, Smart Materials, Nano- and Micro-Smart Systems, 1(1), 97, Sydney, Australia(Dec. 2004).

약 력

김경헌

1986년 7월-1989년 10월 미국, 버지니아주 Hampton University 물리학과 연구조교수
1986년 7월-1989년 10월 미국, NASA Langley Research Center 상임주재연구원
1989년 11월-2000년 12월 한국, 한국전자통신연구원 광섬유광자팀 팀장
2001년 1월-2003년 8월 한국, 한국전자통신연구원 광통신소자연구부 부장
2003년 9월-현재 : 인하대학교 물리학과 교수

이승걸

1987년 - 1991년 인하대학교 응용물리학과 조교수
1991년 - 1992년 미국 Northwestern 대학 교환교수
1992년 - 2000년 인하대학교 전자전기컴퓨터공학부 교수
2003년 - 2003년 미국 U. of Arizona Optical Sciences Center 교환교수
2000년 - 현재 인하대학교 정보통신공학부 교수

오범환

1993.12~1994.08 Univ. of Texas Austin 박사 후 과정 연구원
1994.09~ 현재 인하대학교 정보통신공학부 교수
1995.06~1998.01 전자통신연구원, 표준과학연구원 초빙교수
2002.01~2003.02 Univ. California, San Diego 교환교수

박세근

1977년-1979년 전자통신연구소 연구원
1986년-1988년 LG반도체 MOS기술부장
1992년-1993년 CALTECH 방문교수
1997년-2001년 평판 디스플레이개발사업(G7사업) 운영위원장
1998년-2003년 시스템 IC 개발사업 장비재료 전문위원
1998년-2003년 시스템 IC 개발사업 전문위원
1998년- 현재 인하대학교 정보통신공학부 교수

강진구

1983년 서울대 (학사)
1984년-1988년 삼성 반도체(삼성전자)
1988년 Texas Instrument Korea, Design Lab
1990년 New Jersey Institute of Technology(석사)
1996년 North Carolina (공학박사)
1996년-1997년 미국 INTEL사 (Senior Design Engineer)
1997년 3월-현재 인하대 전기전자공학부. 전자전공교수

최영완

1992년 ~ 1995년 한국전자통신연구소 기초기술연구부 선임연구원
1995년 ~ 현재 중앙대 공과대 전자전기공학부 전자공학전공 교수

이일항

1978년-1980년 미국, YALE/PRINCETON 대학교(펠로우/FELLOW) 연구, 교육, 강사
1980년-1984년 미국, MONSANTO 반도체중앙연구소(연구과학자)
1984년-1984년 미국, NORTH CAROLINA 주립대 교수초빙
1984년-1990년 미국, AT&T사 BELL 연구소(연구팀장)
1992년-1992년 한국, KAIST 초빙교수
1990년-1998년 한국, 한국전자통신연구원(연구단장, 연구소장)
1999년-현재 한국, 인하대학교 정보통신대학원 교수, 집적형 광자기술 연구센터장