

세계 빛의 해 (IYL) 2015 특집 ■ 우리나라 광학 연구 및 개발의 역사 (개인적인 소회 및 경험을 바탕으로)

KIST에서의 광기술 연구



INTERNATIONAL
YEAR OF LIGHT
2015

최상삼*

KIST에서 광기술 연구는 1970년대 초 레이저 관련 기술 개발을 시작으로 하여, 1970년대 후반부터 광섬유 국산화 기술 개발, 1980년대에는 특수 광섬유 및 집적 광학기술에 대한 개발을 수행하였으며, 1990년대에는 레이저 관련 기술, 홀로그래프 기술 및 광섬유 격자소자, 반도체 광원 기술 개발, 2000년대에는 특수 광섬유 기술과 광섬유 레이저, 반도체 광원 기술, 반도체 소자를 이용한 센서 기술 등을 개발하였다. 한편 1990년대 중반에는 KIST-2000 프로그램으로 3차원 영상에 관한 연구 사업을 영상미디어연구센터와 같이 수행하였다.

1. 레이저 기술 연구

독일에서 유학하신 김 응박사님(작고)이 1971년 KIST에 입사하셔서 응용광학 연구실을 만드셨고 레이저 관련 연구를 시작하였다. 1973년 국내 최초로 수냉식 CO₂ 레이저 개발에 성공하여 130W의 출력을 구현하였으며, 이 때 빔 차단용

내화벽돌이 녹아서 모두들 매우 놀랐다. 그 후에도 CO₂ 레이저 고성능화 기술에 대한 연구를 계속 수행하였다.

1974년 선임연구원으로 부임한 본인이 김 응박사의 뒤를 이어 다양한 레이저에 관한 연구를 계속 진행하였다. 1976년 김 응박사님이 연구과제 책임자이던 본인이 실무 책임자로서 He-Ne 레이저용 다중박막거울 제작을 수행하였으며, ZnS, MgF₂ 한 세트의 번갈아 증착하여 11층의 박막을 증착함으로써 580nm-700nm대역에서 99.4%의 반사율을 갖는 레이저 거울을 제작하였다. 1977년 수냉식 sealed off CO₂ 레이저를 개발하였는데, 레이저 관의 길이를 70cm, 출력 거울을 ball joint에 고정하여 거울의 미세조정을 함으로써 2.5W의 레이저 출력을 구현하였다.

1976년 김 응박사님이 국방과학연구소로 이직하신 후, 본인의 주도로 1977년 He-Ne 레이저 기술을 개발하였다. 길이가 10cm, 12.5cm, 15cm이고 내부직경이 1mm-2mm 되는 관을 이용하여 헬륨과 네온의 비가 7:1 정도일 때 0.2mW의 출력을 구현하였으며, 이는 국내 최초로 He-Ne 레이저를

* Laser & Physics Co.

KIST에서의 광기술 연구

제작 발전한 기록이다.

1977년부터 삼성전자와 같이 “전광 훈련식 기재 및 레이저 광원기술 개발 연구”라는 주제로 He-Ne 레이저 및 CO₂ 레이저 기술을 같이 개발하였으며, 이때 TiO₂-SiO₂ 조합으로 21층의 박막을 쌓아 99.9%의 반사율을 갖는 레이저 거울의 개발에 성공하여 외국의 제품과 비교하여도 손색이 없는 특성을 구현하였다.

한편 1978년부터 광섬유 국산화 과제가 진행되면서, 광섬유 특성측정을 위한 LD 구동 모듈의 필요성을 느껴 1981년 GaAs 반도체 레이저를 구입하여 구동 전자회로를 만들어 904nm 파장에서 FWHM 250ps를 갖는 광 펄스 발생기를 개발하였다.

1984년 김선호박사의 주도로 고출력 펄스형 CO₂레이저 기술을 개발하여 CO₂:N₂:He의 비가 1:3:17일 때 80W의 출력을 구현하였다. 1991년부터 김동환박사와 전영민 박사가 단파장 여기 레이저 기술 개발을 시작하였으며, 이때 펄스 반복률 10Hz에서 15mJ을 갖는 XeCl 엑시머 레이저 기술을 개발하였다. 1994년에는 치과 수술용 Nd:YAG 및 Er:YAG 레이저 기술을 개발하였으며, 이 때 개발된 연조직 수술용 Nd:YAG 레이저는 100Hz 동작시 50W의 출력을 구현하였고, 에나멜 조직 제거용 Q-switched 레이저는 50ns의 펄스 폭을 가졌다. 수분 흡수가 강한 Er:YAG 레이저는 20Hz로 동작시 12W의 출력을 구현하였다.

1988년부터 이상배박사가 Nd, Er첨가 광섬유 기술 개발을 시작하였으며, 1990년 두개의 레이저 거울을 사용한 F-P형 Nd 첨가 광섬유 레이저를 1.096um 파장에서 발진시켰다. 출력 거울의 반사율이 99%, 95%, 90%, 67.5%, 50%일 때 출력특성의 변화를 측정하였으며, 67.5% 반사율일 때 최대 1.88mW의 출력을 구현하였다. 또한 광통신용 광증폭기에 사용되는 Er:Al 동시 첨가 광섬유를 제작하였고, 1.534um에서 발진되는 광섬유 레이저를 제작하였다. 2005년부터 고출력 광섬유 레이저 기술 개발을 착수하였으며, 클래딩 펌핑 구조를 갖는 광섬유를 이용하여 반도체 광원으로 여기함으로써 수 백W의 출력을 구현하였다.

2. 광섬유 및 광섬유 소자 기술

1978년 본인이 응용광학 연구실 실장으로서 금성전선 및 대한전선과 공동으로 광통신용 실리카 광섬유 제조 기술 개발을 시작하였다. 본 연구에서는 다중모드형태의 실리카 광섬유를



그림 1. MCVD 법에 의한 광섬유 제작

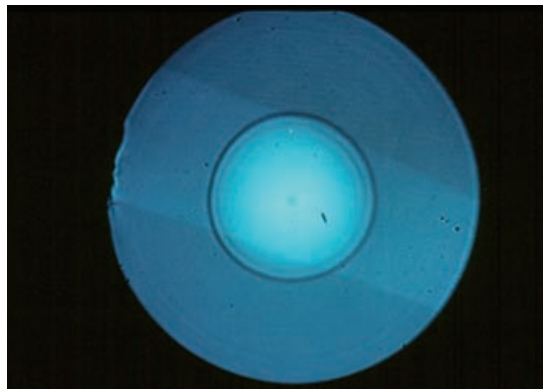


그림 2. 국내 최초로 제작된 다중모드 광섬유 단면사진

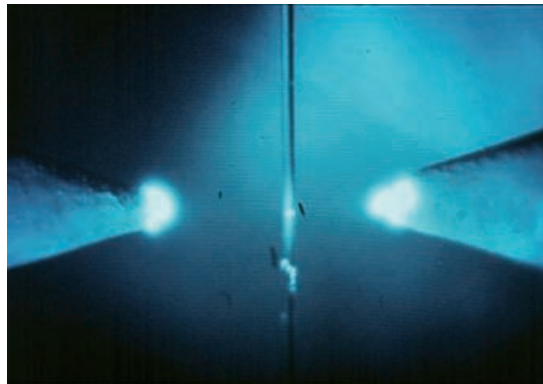


그림 3. 제작된 광섬유 접속기

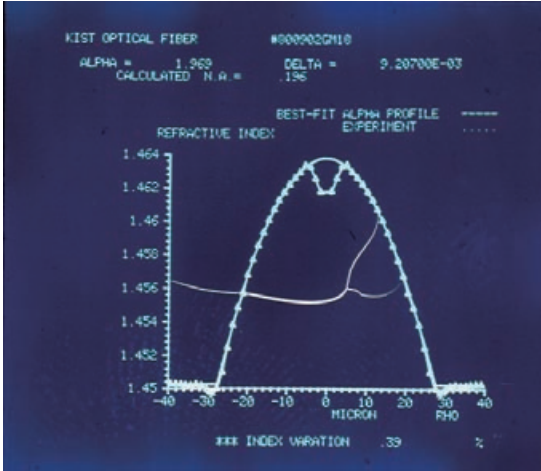
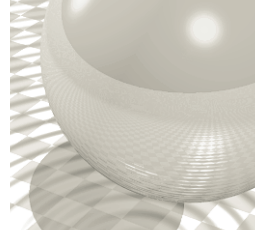


그림 4. 다중모드 광섬유 굴절률 분포 그래프



그림 7. 제작된 광섬유 케이블



그림 5. 제작된 광섬유 손실 측정장치

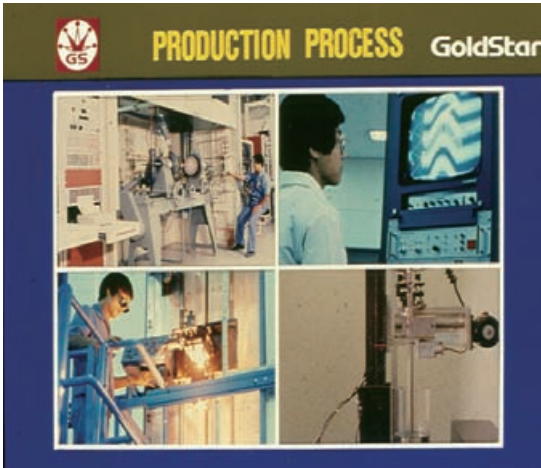


그림 6. 공동 개발된 광섬유의 금성 전선 카탈로그



그림 8. 최초로 국산화된 광통신 전화를 시연중인 본인

KIST에서의 광기술 연구

MCVD제조법으로 제작하는 기술 개발에 중점을 두었으며, 1980년도 초에 경사형 굴절률 분포를 갖는 다중모드 실리카 광섬유를 개발하였고, 이올러 단일모드 광섬유 기술도 개발하였다. 이러한 광섬유 제조 기술의 개발과정에서 축적된 기술을 바탕으로 1980년도 중반에 KIST, 금성전선과 대한전선의 합작으로 한국광섬유 주식회사를 설립하였다. 한편 이때 광섬유의 특성을 계측하기 위한 광시분할반사손실측정기(OTDR), 광섬유 용착접속기, 색분산 측정기, 광섬유 모재 굴절률 측정기등 제반의 계측 장비도 아울러 개발하였다. 또한 김병운 박사가 광섬유의 편광손실특성을 측정하기 위한 POTDR 기술을 세계 최초로 개발하여 Optics Letters에 논문을 게재하기도 하였다.

1980년도 중반부터는 광섬유 내부에서 빛의 편광을 유지시켜주는 편광유지광섬유 제조 기술에 관한 연구가 국책과제로 추진되어 복굴절 특성이 10^{-4} 단위의 광섬유 기술이 개발되었다. 이 때까지 광섬유 기술 개발에 노력하신 분들은 김기순, 이영재, 오봉환, 김상국, 김신근, 박 단, 김경진, 조재철, 계광희, 한택상, 지정섭, 김명욱, 신규호, 김병운, 송계휴, 정교방, 이재하, 김상혁, 조운조, 주홍, 이상배 등이다.

1988년부터 통신을 위한 광증폭기용 광섬유 기술 개발을 시작하였다. 광섬유 내부에서 빛을 증폭시킬 수 있는 희토류 금속이온이 첨가된 실리카 광섬유로써 광증폭기용으로는 어븀을, 레이저용으로는 네오디뮴을 첨가하여 광섬유를 제작하였다. 이 광섬유를 이용하여 광통신에서 빛신호를 크게 증폭시키는데 이용되는 광섬유 광증폭기(EDFA)를 1992년 개발하여, KIST 신 개발품전시회에 출품하였고, 이를 관람한 삼성전자에서 본격적으로 EDFA 개발을 위한 개발팀을 구성하였다.

한편 한택상, 조운조박사가 초극저손실 광섬유 기술도 개발하였는데, 장파장 영역에서 이론적 광손실이 실리카 광섬유보다 훨씬 더 낮은 플로린(F) 기반의 복합유리 광섬유 기술을 캐스팅 법으로 개발하였다.

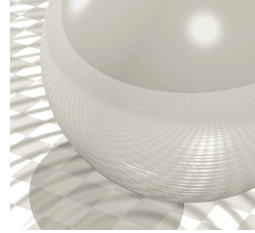
1994년부터는 고출력 자외선 레이저를 이용하여 실리카 단일모드 광섬유 내부에 회절격자를 형성시킨 광섬유격자를 개발하였으며, 이를 광센서나 통신용 광섬유 소자 등을 제작하는데 활용하는 연구가 추진되었다. 성능이 좋은 광섬유 격자를 제작하였고, 광섬유 격자의 온도 및 스트레인 특성을 분리할 수 있는 방법이 개발되었으며, 이를 이용하여 2001년 남해대교 하중재하실험을 성공적으로 수행하였고, 콘크리트 시험보, 콘크리트 말뚝 등에 광섬유 격자센서를 설치하여 세계에서 처음으로 하중재하시 중립축의 거동 계측 및 말뚝 하중재하시 하중전이특성을 계측하였다.

광섬유 내에서 발생된 펄스 분산을 보상하는데 활용될 수 있는 분산보상용 chirped 광섬유 회절격자를 개발하여 WDM 통신용 64채널 분산 보상기를 제작하였으며, EDFA의 파장에 따른 광증폭도 변화를 없애주는 이득평탄화용 장주기광섬유 격자를 개발하였고, 나아가 WDM 통신에서 전체 신호 세기에 따라 변화하는 EDFA의 이득을 자동으로 보정할 수 있는 동적 광섬유격자 이득평탄화 필터를 개발하였다.

2000년대 이후에는 포토닉 크리스탈 광섬유 기술을 개발하여 대한전선과 공동으로 FTTH용 저급힘손실 포토닉크리스탈 광섬유를 개발하였고, 고비선형 포토닉크리스탈 광섬유를 개발하여 1200nm 대역의 초발광광원(supercontinuum)을 만들었다. 또한 포토닉 밴드갭 광섬유를 제작하여 가스센서로의 응용 기술을 발표하였다. 이 연구에는 한영근, 이주한, 이관일 박사가 참여하였다.

3. 집적광학 소자 기술

광통신기술이 실용화되어 이 기술로 비디오 회의, 고화질 TV분배 그리고 영상전화와 같은 고품위 영상통신과 고속데이터 등 대용량의 정보를 고속으로 전송해야할 필요성이 증가하였다. 집적 광학기술은 이러한 이유로 해서 1980년대 중반부터 개발이 시작되었다. 그동안 LiNbO_3 와



GaAs 같은 비선형 결정을 이용한 집적광소자 즉, 광집적회로(IC)개발에 대해 연구가 진행되어 왔으며 특히, 고속 광변조기/스위치의 개발과 정보용량을 늘릴 수 있는 연구를 중점적으로 수행하여 왔다. 1980년대 중반부터 1990년도 초반까지는 광스위치와 WDM 소자를 제작하기 위해서 LiNbO_3 기판에 Ti를 열확산 시킴으로써 광도파로를 제작하는 방법을 주로 사용하여 M-Z형 도파로를 이용한 광변조기를 개발하였다.

한편, GaAs나 InP와 같은 III-V족계 광반도체들은 LiNbO_3 에 비해 광원과 광검출기를 단일기판 위에 집적할 수 있고 낮은 구동전압을 갖는 고속 변조기와 스위치를 제작할 수 있으며, 액상형 박막성장과 선택적 식각을 이용한 정교한 제작이 가능하다는 장점들이 있는 반면에 전파손실이 큰 단점을 가지고 있다. 그러므로 단일 반도체칩 위에 다양한 기능의 여러 광소자들을 많이 집적시키기 위해서 밀집된 도파로와 저손실 도파로 기술의 필요성에 의해 1990년도 초반부터 GaAs와 AlGaAs를 이용한 광소자를 연구하여 왔다. 본 연구에는 김선호, 한기관, 이종창, 정영철, 박경현, 변영태, 김재현 등이 참여하였다.

4. 광전자기술

강광남 박사(작고)가 프랑스 유학을 마치고 귀국하면서 광전자연구실을 창설하였다. 초기에는 짧은 채널 Si-MOSFET 트랜지스터의 노쇠화 현상, 마이크로파용 GaAs MESFET 제조기술 및 수동소자 라이브러리 제조기술 등 마이크로파 한판집적회로의 국내 최초 연구를 수행하였다. 1993년 국내 최초로 반도체 에피장비인 화학비 에피택시(CBE)장비를 갖추게 되어 III-V족 화합물 반도체를 이용한 광전소자의 개발에 힘썼다. InP MSM 수광소자, 광변조기, 매트릭스 광스위치, 양자우물의 무질서화, 화합물반도체/절연체의 계면성질 연구 등이 주요 연구주제였다. 본 연구에 참여한 분은 이정일(작고), 한일기, 우덕하, 이 석, 박용주, 이유종, 이명복,

최병진, 김동명, 최원준, 김희중 등이며, 후에 홀로그래피 연구팀의 손정영박사가 합류하였다. 이 후 화합물 반도체 결정성장(양자 우물, 양자 선, 양자 점 등)과 이를 이용한 고출력 반도체 광원, 단전자 소자, 실리콘나노결정, ZnOx 박막, GaN, PBG, 양자점 레이저 다이오드, 양자우물 및 양자점의 무질서화(파장 가변), MOSFET의 광반응 등을 연구하였으며, 현재 자성재료 탐과 협력하여 스핀트로닉스라는 새로운 분야를 개척하고 있다. 최근에는 송진동, 하승규 등이 합류하여, MBE(분자속예피성장장치)에 기초한 화합물 반도체 나노구조를 이용하여 단광자 발생기, 태양전지, 레이저 광원 등을 개발하고 있다.

5. 기타 광기술 개발

광기술 분야에서는 이 외에도 100Gb/s 광학 시분할 시스템용 극초단 광펄스 광원과 다중화기 및 광위상 동기 시스템, 파장 가변 광 모듈레이션용 모듈 개발, 광학 신호처리용 광학장치 개발을 수행하였으며, 전광으로 신호처리가 가능한 반도체 광소자 기반의 6개의 광논리소자 및 half adder 및 full adder 등의 광연산 시스템을 개발하였다. 개발된 논리소자를 바탕으로 집적화 연구를 수행해 오고 있으며, 이러한 기술은 전광 통신망뿐만 아니라 광컴퓨터 같은 초고속 정보 처리 시스템의 핵심 부품이 될 것으로 사료된다.

현재 BT와 IT가 접목된 연구를 수행하고 있으며, 실제 살아있는 바이오 물질의 변화 및 움직임 영상 처리, 그리고 분광학 등을 동시에 분석할 수 있는 초고속 빔스캐닝 기술을 개발 중이다. 그리고 기 개발된 광대역 신호(supercontinuum) 및 terahertz 신호에 기반한 ppm 이하 급의 환경 위해물질 검출에 대한 연구를 수행해 오고 있다. 또한 앞서 언급된 광대역 신호 및 테라헤르츠 신호를 이용해 폭발물 분광학, 테라헤르츠를 이용한 투시 기술 등 다양한 국방 및 안전과 관련된 기술을 개발하였다.

KIST에서의 광기술 연구

6. 3차원 영상미디어기술 개발 분야

영상미디어연구센터에서는 1993년에 삼성항공의 수탁으로 디지털 전자식 카메라의 핵심부를 개발하였다. 전자식 카메라의 핵심부분인 영상압축 및 복원 부분과 자동 초점 조절 제어부분을 삼성전자와 공동으로 개발하여, 그 결과 특허분쟁 및 해외 로열티의 부담이 없이 순수 국내기술로써 상품화가 가능하게 되었다. 1994년에는 한국통신 및 ETRI와 공동으로 비디오 코덱용 영상 압축 VLSI처리기 칩을 개발하였다. 이는 저전송률 비디오 코덱 개발을 위한 것으로써, H.261 표준사양을 만족시키는 영상 압축 및 복원처리기, 움직임 검출 처리기, 양자화·역양자화 처리기 등 핵심 비디오 코덱 처리기 개발로 이어졌다. 이 기술은 향후 HDTV급에서도 동작 할 수 있게 설계되었다.

1995년 국내 최초로 스테레오 어댑터를 이용한 단일 캠코더 스테레오 카메라 DML제작과 액정 셔터와 모니터를 이용한 입체영상 시스템을 개발하였다. 1996년에는 펄스레이저 홀로그래픽 비디오 시스템을 세계 최초로 개발하는데 성공하였다. 또한 특수한 안경을 사용하지 않고도 다시점 3차원 영상을 투사 및 표시할 수 있는 투과형의 천연색 홀로그래픽 스크린을 개발하는데 성공하였다. KIST-2000 프로그램의 3차원 영상매체기술 개발 중 디지털 기반 3차원 영상기술에 대한 연구를 통하여 렌티큐라 방식에 의한 입체영상 기술과 다시점 입체영상 기술을 성공적으로 개발하였다. 이는 영상기술의 꽃이라고

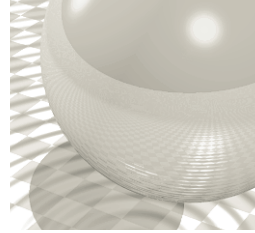
불리는 디지털 입체 TV의 기반기술을 축적했다는 중요한 의미를 갖는다. 그리고 특수 안경 없이 양안의 시차를 이용하여 입체영상을 표시하는 시스템도 개발하였다.

KIST-2000프로그램의 3차원 영상매체기술 개발 중 가상현실 시스템 개발팀은, 순수 국내기술로 MBC와 1996년 15대 총선 투·개표 방송을 위한 가상 스튜디오 시스템을 개발하여 생방송에 투입 활용하였다. 이는 국내 가상현실 응용 기술력이 이미 세계 선진국과 비교해 손색이 없다는 점을 입증하는 계기가 되었다.

영상미디어 분야에서는 이 외에도 Multi-view Autostereoscopic Display 개발, 지상 레이더 칩투 기술 개발, 경주 세계문화엑스포 2000:세계 최대 VR극장 개발, 3D 사이버 박물관 등의 연구 성과가 있다.

7. 연구조직의 변화

KIST에서의 광관련 연구조직은 1972년 김웅박사님이 개설하신 응용광학 연구실에서 출발하였으며, 1976년 김웅박사님이 국방과학연구소로 이직하신 후 본인이 주로 맡아 왔다. 1986년 강광남박사가 귀국 후 광전자 연구실을 만들었으며, 1996년 말 응용광학 연구실과 광전자연구실이 통합하여 광기술 연구센터로 운영되었다. 광기술 연구센터는 많은 조직 개편을 거쳐 현재에는 센서시스템연구센터와 나노포토닉스 연구센터로 나뉘어 운영되고 있다.



약 력

최상삼



1. 학 렳

- 1966년 B.S. in Physics, Univ. of North Carolina, Chapel Hill, N.C., U.S.A.
- 1968년 M.S. in Physics, Michigan State Univ., East Lansing, Michigan, U.S.A.
- 1971년 Ph.D. in Physics, The Ohio State Univ., Columbus, Ohio, U.S.A.

2. 경 렳

- 1971 - 1974 Research Associate, U.V. Photoelectron Analysis Lab, Univ. of North Carolina, Chapel Hill, N.C., U.S.A
- 1974 - 1975 Visiting Research Scientist, Group des Transitions de Phases Centre National Research Scientific (CNRS), Grenoble, France
- 1974 - 2001 한국과학기술연구원 선임/책임연구원, 연구부장, 기술자문단 단장
- 1984 - 1985 (주) 금성전선기술고문 상무이사
- 1989 상공부 첨단기술산업발전심의회 광산업분과위원
- 1990 - 1992 한국통신기술 자문위원
- 1990 - 1992 국방과학연구소 물리분야 전문분과위원
- 1993. 5 - 8 Visiting Research Scientist, Depart. of Ceramic Science and Eng. Rutgers University
- 1997. 1 - 10 과학기술정책관리연구소 연구기획 관리단장
- 1998 산업자원부 기술개발기획평가단 위원
- 1995 - 2001 고려대학교 공과대학 객원교수
- 1998. 1 - 2 일본 우정성 통신총합연구소 초빙 연구원
- 1999 - 2000 한국광학회 회장
- 2001 - 2004 한국광기술원 원장
- 2004 - 현재 KIST, Laser & Physics 자문

3. 학회활동

- 한국광학회 회장
- 한국물리학회 Fellow
- 대한전기학회 회원
- 대한전자공학회 회원
- Member, American Physical Society, U.S.A.
- Member, Optical Society of America, U.S.A.
- 한국과학기술한림원 회원
- 1991 Tech. Prog. Member. International Conf. on Intergrated Optics & Opt. Fiber. Comm. (IOOC), Paris, France
- 1994 제1회 광 전자공학 학술회의 위원장, 서울
- 1994 '94 광자기술 학술회의 위원장, 대덕
- 1995 '95 광자기술 학술회의 위원장, 부산
- 1996 Advisory Comm. Member, International meeting on Microwave Photonics, Japan : Tech. Program member, Opto-electronic Comm. Conf. (OECC), Japan
- 1999 Advisory Comm. member, International Optical Fiber Sensor Conf. (OFS), Kyoung Ju, Korea
- 1999. 8 운영위원장, Conf. on Laser & Electro-Optics/Pacific rim, Seoul, Korea
- 2000 Advisory Comm. Member, 2nd International Topical Workshop on Contemporary Photonics Tech., Sendai, Japan
- 2001 Advisery Comm. member, 3th International Topical Workshop on Contemporary Photonics Tech., Tokyo, Japan
- 2001. 7 Advisory Comm. member, Conf. on Laser & Eetro-Optics/Pacific Rim, Japan

4. 훈포장

- 1982. 10 국민훈장 동백장
- 1980. 4 국민포장