

고속 전력선통신 기술의 현재와 미래

임 수 빈

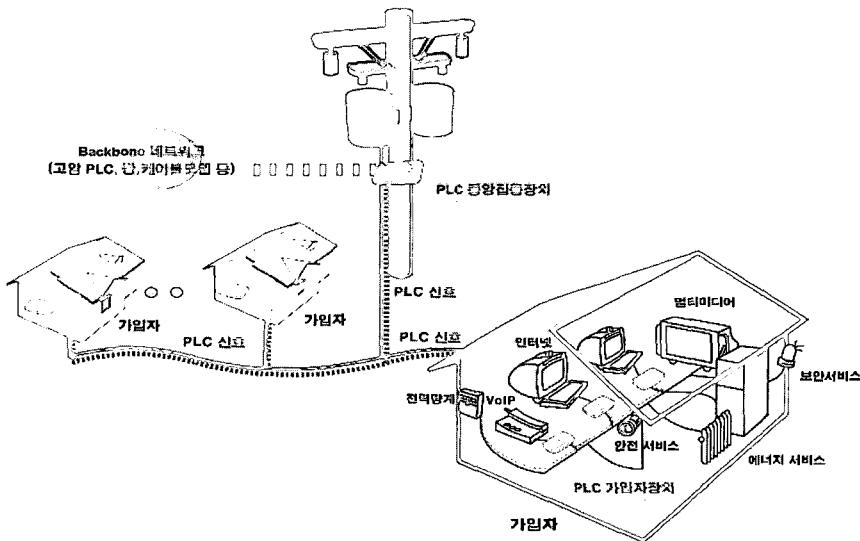
(주)젤라인

전력선통신(Power Line Communication: PLC)은 전기가 공급되는 전력선을 활용하여, 데이터를 실어 나르는 기술이다. PLC는 기존 전력선을 통신매체로 사용하기 때문에 새로운 통신선로의 설치가 불필요하다. 한편 전화선 등 각종 통신선로는 세계적으로 보면 보급률이 낮은 나라가 많기 때문에 xDSL (Digital Subscriber Line)만으로 광대역 통신을 감당할 수 없다. 이와 같은 이유로 고속 PLC가 광대역 서비스를 보급시키기 위한 유력한 수단으로 평가받고 있다.

연결의 편리성 때문에 PLC 기술은 오랜 역사를 가지고 있다. 1990년대 중반에 저주파의 협대역을 사용한 수 kbps(kilo bits per second) 급의 저속 PLC 칩이 개발되어, 간단한 제어 시스템 등에 활용되고

있다. 이 후 고속 디지털 프로세서, 고집적 칩, 통신 기술의 급속한 발전 등으로 고주파의 광대역을 사용한 수~수백 Mbps(Mega bits per second) 급의 고속 PLC 칩 및 시스템이 개발되고 있다. 최근 수년간 각국에서 필드 테스트를 거쳐 [그림 1]과 같이 Access 및 Home networking을 PLC로 구성해 Internet, Voice over IP, 보안 서비스 등 여러 가지 다양한 응용분야에 사용되기 시작했고, 유럽 등지에서는 상용화 서비스가 진행 중에 있다.

본 기고에서는 PLC를 위한 전력선 특성을 소개하고, 광대역 통신 네트워크의 필요조건을 정리하였다. 또한 현재 각국에서 개발하고 있는 고속 및 초고속 PLC 기술과 국내의 PLC 기술 및 향후 발전 방향을 소개하고자 한다.



[그림 1] 고속 PLC 구성 및 응용분야

I. 고속 PLC 특징

고속의 광대역 PLC는 전력선을 매체로 하는 유선 통신으로 다음과 같은 장점과 채널 특징을 갖는다.

1-1 고속 PLC 장점

PLC는 기존의 전력선을 사용하고, 전력선의 경우 집 안팎으로 구석구석 포설되어 있기 때문에 새로운 통신선로에 관한 추가공사 없이 광대역 네트워크를 구축하기 쉽다는 장점을 갖는다. 전화선 보급률이 낮은 나라의 경우 전력선을 이용하는 고속 PLC가 더욱 유망하다.

대부분의 고속 PLC 상용화는 전력회사를 중심으로 진행되고 있다. PLC는 전력회사의 배전 자동화 네트워크 구축을 위한 최적의 방안으로 제시되고 있으며, 인터넷 등 부가서비스가 가능해 서비스 요금 등 면에서도 경쟁력이 있기 때문에 전력회사의 새로운 비즈니스 모델로 대두되고 있다. 또한 최근 200 Mbps급 초고속 PLC의 개발로 홈 내 고품질 멀티미디어 네트워크 구축이 검토되고 있으며, 무선의 음역지역을 극복하는 대안으로 평가되고 있다.

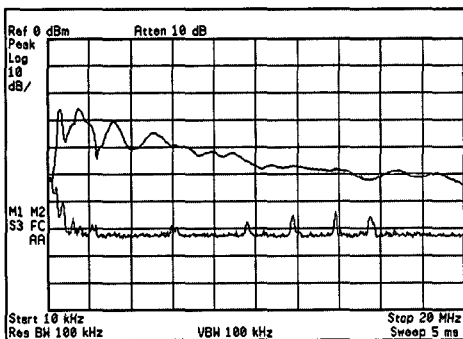
1-2 채널 특성

전력선 채널에서 고주파 대역의 사용은 저주파

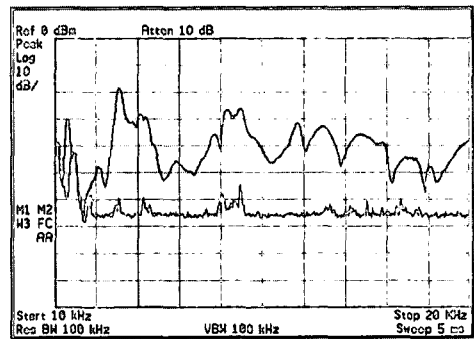
대역보다 상대적으로 임피던스 변화폭, 잡음레벨, 임펄스성 잡음이 작으며, 상(phase) 간에 coupling 효과가 크다는 것이다. 그러나 단점으로 생각되던 전력선 채널의 주파수 선택적 페이딩 현상, RFI(Radio Frequency Interference) 잡음 등은 통신기술의 발전으로 극복되었다. 또한 칩 구현과 관련해서 고속 및 고집적 반도체 기술의 비약적인 발전으로 소비전력, 가격 문제점 등은 극복되고 있다.

저압(Low Voltage: LV) 및 고압(Medium Voltage: MV) 전력선 구성은 지중선(underground)과 가공선(overhead)으로 구분된다. 지중 전력선 특성 [그림 2]의 경우 가공 전력선 특성 [그림 3]보다 상대적으로 잡음레벨(빨간 선)이 작고, 주파수가 높아 질수록 감쇄(파란 선)가 커져 전용 통신선로의 신호 응답특성과 매우 유사하다. 특히 tree 구성을 갖는 가공선의 경우 무선 채널과 유사한 주파수 선택적 페이딩이 발생하여 일정 주파수 영역에서 신호감쇄가 매우 큰 현상이 발생된다. 이와 같은 현상 때문에 주파수 별로 채널 감쇄 특성이 모두 다를 수 있으며, 특정 주파수의 수신신호가 없다면 이 대역을 사용한 통신은 불가능해지는 문제가 있다.

전력선통신은 옥외장치(Access network)와 옥내장치(Home network)로 구분되며, 이는 채널 및 잡음 환경이 옥외와 옥내가 매우 다르기 때문이다. 옥외



[그림 2] 지중 전력선 특성



[그림 3] 가공 전력선 특성

의 경우에는 서비스 범위가 넓기 때문에 신호의 손실이 매우 크며, 옥내의 경우에는 부하에 영향을 많이 받을 수 있는 차이점이 있다.

II. 고속 PLC 필요조건

고속의 광대역 PLC를 사용한 시스템 구성 시 고려해야 할 점은 전송 품질, 신뢰성, network 관리, 보안성, 공존성 등이 주요 항목이다.

2.1 전송 품질 및 신뢰성(Quality & Reliability)

주파수 선택적 페이딩 및 높은 잡음 상황에서 고속 PLC의 신뢰성을 향상하기 위해서는 PLC 송수신기가 채널 가변적 전송방식을 지원하는 것이 필요하며, 가변적 송수신 모드를 지원할 수 있는 Multi-channel 혹은 Multi-carrier 변조방식이 필수적이다. 또한 PLC 채널의 특성상 심한 신호손실이 있기 때문에 수신기의 감도가 중요하며, 시간적으로 변하는 잡음 특성 때문에 발생하는 데이터 에러를 보정하기 위해 강력한 오류 정정기술의 사용이 필수적이다. 특히 access network의 경우 서비스의 범위를 확장하기 위한 repeater 기능이 필수적으로 요구된다. 사실상 전력선은 전력공급이 목적이지만 데이터 통신을 목적으로 설치된 것은 아니기 때문에, 신호 감쇄 및 잡음 면에서 전용 통신선로와는 많은 차이를 보이고 있다. PLC 채널은 주파수 별로 완전히 다른 신호 대 잡음 비 특성을 보이기 때문에 고속의 신뢰성 있는 PLC를 위해서는 어떤 변조방식을 사용하는 지가 매우 중요하다.

고속 PLC에 사용할 수 있는 변조방식별 장단점은 다음과 같다. Single carrier는 구현상 복잡도는 낮지만, PLC 환경의 변화 즉 주파수 별 신호손실 및 잡음이 많은 차이를 보이는 환경에 적응하기 어렵기 때문에 데이터 전송의 신뢰성 면에서 많은 문제를 보인다. 대부분 협대역 통신에 이용되어 전송속도가

수 kbps~수십 kbps 정도이다. Multi-channel의 경우 신뢰성 면에서 우수하지만, 고속통신을 만족하기 위해서는 대역폭 효율성이 낮아 수 Mbps급 정도를 구현할 수 있다.

Spread spectrum은 1차 변조된 신호에 PN sequence를 곱하는 것으로 신호를 넓은 대역으로 확산시키고, 수신기에서 다시 PN sequence를 곱하여 역 확산해 원래의 신호를 재생하는 방식이다. 이와 같은 대역확산 이득으로 이론적으로 동일 신호 대 잡음 비 상황에서 가장 좋은 성능을 보인다. 그러나 매우 빠른 동작속도와 대역확산으로 속도가 떨어지기 때문에 고속 PLC를 지원하기는 현실적으로 어렵고 수 Mbps 전송이 가능하다.

Multi-carrier 방식은 직교성을 이용해 인접한 반송파의 대역이 겹쳐지도록 배열하고, 한정된 대역에서 수백~수천개 반송파를 동시에 사용하는 것으로 대역폭 효율이 매우 높다. Multi-carrier 방식은 크게 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplex)과 DMT(Discrete Multi-Tone)로 구분되며 차이점은 다음과 같다. OFDM 변조방식은 주로 무선 채널에 사용되는 것으로, 미국의 PLC home networking을 위한 HomePlug v1.0의 표준 변조방식으로 모든 subchannel에 동일한 비트 수를 할당하여 전송하는 방법이다. 그러나 DMT 변조 방식은 OFDM과 달리 subchannel 별로 신호 대 잡음 비를 측정하여 채널의 감쇄, 왜곡, 간섭, 잡음 등이 작은 채널에 많은 정보 즉 bit 수를 전송하고, 그렇지 않은 채널에 bit 수를 적게 전송함으로써 subchannel 별로 적응 비트할당이 가능하여 채널용량에 가장 근접한 최적의 전송방식이다. Multi-carrier 방식의 장점으로는 심볼주기가 충분히 길기 때문에 커패시터 뱅크로 인한 임펄스 잡음, 채널의 왜곡 등의 다양한 상황에서 신뢰성 있는 고속 통신이 가능하며, 다른 무선기기와의 공존을 위해 특정 반송파를 사용하지 않을 수 있다는 유연성이 있다. 비록 구현 시 single-carrier와 비교하여 복잡하

지만, 비약적인 반도체 기술을 고려할 때 고속 PLC를 위한 변조방식으로는 DMT 방식이 최적으로 수십~수백 Mbps 전송이 가능하다.

Duplex 방식도 신뢰성 있는 고속 PLC를 위해서는 매우 중요하다. Full duplex 방법인 FDD(Frequency Division Duplex)가 속도 면에서는 장점이 있지만, 하향 혹은 상향 중에 하나의 통신경로가 심한 채널손실 혹은 잡음 등의 영향으로 성능이 떨어지면 전체 시스템 신뢰성이 급격히 떨어지는 단점이 있다. 또한 전력선 채널의 경우 임피던스 변화 폭이 커서 송신 시 발생하는 echo 신호를 제거하기 위해 모뎀이 복잡해진다. 이와 같은 이유로 속도 면에서 손해를 보더라도 구현상 간단하고 광대역 사용의 신뢰성 있는 Half duplex 방법인 TDD(Time Division Duplex)를 선택하는 것이 바람직하다[그림 4].

2.2 Network 관리 및 보안성(NMS & Security)

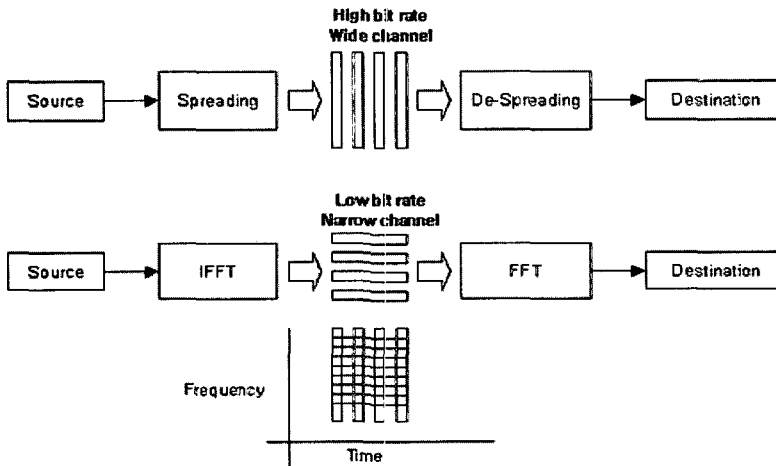
전력선의 shared media 특성상 access network의 경우 네트워크 유지관리 및 보안이 매우 중요하다. 이것은 시스템 구성과 매우 밀접한 관계를 가지고 있는데, master/slave 구성 만이 가능하다. Master/slave

구성은 master 장치에 모든 정보가 집중화 되어 있기 때문에 모든 slave 장치들의 정보를 관리 및 제어할 수 있으며, 대규모 설치 시 안정적인 전송속도를 지원한다. 보안을 위해 고속 PLC에는 암호(encryption) 기술이 사용되는데, master에 의해 암호 키가 관리되며 자동 키 등록 및 주기적 키 관리 등을 지원해야 한다.

Ad-hoc(LAN) 구성은 모뎀 간 자유로운 데이터 전송을 지원하기 때문에 home networking에 적합하다. 미국 HomePlug 기술은 home networking을 위한 Ad-hoc 구성의 기술표준으로 network 유지관리가 필요 없고, 동일한 network상에서는 동일한 암호 키를 사용하여 모뎀이 공유된다. 사실상 보안성 문제가 절실한 access network에 HomePlug 기술을 적용하는 것은 해킹 등 상당한 문제가 발생한다.

2.3 공존성(Co-existence for Access and Home Networking)

Access와 Home networking을 위한 고속 PLC의 공존 문제를 해결하기 위한 방법은 다음과 같이 blocking filter를 포함하여 여러 가지 multiple access



[그림 4] 고속 PLC 변조방식

기술로 극복할 수 있다.

완벽히 Access와 Home PLC 신호를 차단하기 위한 blocking filter는 가격, 크기, 안전성 등을 고려할 때 실제 적용하기 어렵다. FDMA(Frequency Division Multiple Access)에 의해 분리되는 access와 home 사이의 주파수 할당을 어떻게 할지에 관한 공정성 문제가 있고, 고속 PLC는 어떤 주파수에서 채널 특성이 좋을지 모르는 상황에서 가능한 광대역을 사용하는 것이 바람직하기 때문에 FDMA는 통신 신뢰성을 크게 낮출 수 있다. TDMA(Time Division Multiple Access)는 access와 home 사이의 시간동기 문제를 비롯하여 전송속도 면에서 손해를 많이 볼 수 있으며, CDMA(Code Division Multiple Access)는 사용자 수와 관계되어 심각한 레벨의 간섭을 발생시킬 수 있다.

사실상 가장 현실적이고, 효율적인 방법은 동일한 변조 방식과 공존성이 고려된 MAC(Medium Access Control) 방식의 고속 PLC가 access와 home에서 동작하는 것으로 공존성 문제가 해결될 수 있다.

Ⅲ. 고속 PLC 개발현황

<표 1>은 국내 및 해외 고속 PLC 상용화 칩의 현황으로 아래와 같이 한국의 Xeline, 미국의 Intellon, 스페인의 DS2, 이스라엘의 Itran 등이 있다.

미국은 HomePlug 단체에서 지난 2001년 8월 PLC

<표 1> 고속 PLC 상용화 칩 개발

| 회사명/국가 | 전송속도 | 변조/ Duplex 방식 | 사용 대역 |
|----------------|----------|------------------|----------|
| Xeline/한국 | 24 Mbps | DMT/Half | 2~23 MHz |
| Intellon/미국 | 14 Mbps | OFDM/Half | 4~21 MHz |
| DS2/스페인 | 45 Mbps | DMT/Full | 1~38 MHz |
| Itran/ 이스라엘 | 2.5 Mbps | ACSK*/Half | 4~20 MHz |

*ACSK: Advanced Code Shift Keying(Spread spectrum의 일종)

를 사용한 home networking용 14 Mbps급 HomePlug spec v1.0을 발표하였고, 이 기술은 미국 Intellon사의 기술을 기반으로 한다. 이 단체에서는 2006년 초까지 고품질 AV(Audio/Video) networking을 위한 표준을 진행할 계획이다. 또한 2004년 7월부터 IEEE P1675S/G에서 고속 PLC access network 표준화 작업을 시작한 상황이다. 유럽은 2000년 3월 PLC forum를 발족하여 PLC 표준화를 진행하고 있으나, 업체 및 국가 간의 조율이 어려운 상황으로 현재는 유럽의 규제관련 기술기준에 초점을 맞추어 활동하고 있다.

Ⅳ. 국내 고속 PLC 기술

국내 젤라인에서 개발 완료한 고속 PLC 칩의 기술 특징 및 사양은 아래와 같다.

4-1 XPLC21 칩

XPLC21은 전력선을 이용해 고속의 신뢰성 있는 데이터를 전송하기 위한 칩으로, 이미 포설되어 있는 LV(Low Voltage) 및 MV(Medium Voltage) 전력선을 이용해 Ethernet interface를 기반으로 고속의 access network 및 home networking을 지원한다. XPLC21 칩에는 고속의 ARM9 RISK core가 내장되어 간단한 firmware 교체만으로 PLC 시스템 구축을 위한 Master, Slave, Repeater 등 모든 전송장치에 적용된다. 또한 신뢰성 있는 고속의 Internet access를 위해서 필수적으로 요구되는 NMS(Network Management System)도 지원되어 더욱 안정적이고 향상된 networking이 가능하다.

24 Mbps급 고속 PLC를 구현하기 위한 XPLC21 칩은 DMT 변조를 사용하며, 각각의 subchannel은 채널상황에 맞게 M-ary PSK(Phase Shift Keying) 변조 방식을 사용한다. 이와 같은 적응형 비트할당을 통해 신뢰성 있는 데이터 전송이 가능하다. 또한 심볼 주기가 충분히 길기 때문에 각종 임펄스 잡음에 대

처가 가능하고, 인터리버와 결합된 오류정정기를 사용하여 채널에서 발생하는 데이터 오류를 복원해 낸다. <표 2>는 XPLC21의 주요 PHY 사양이다.

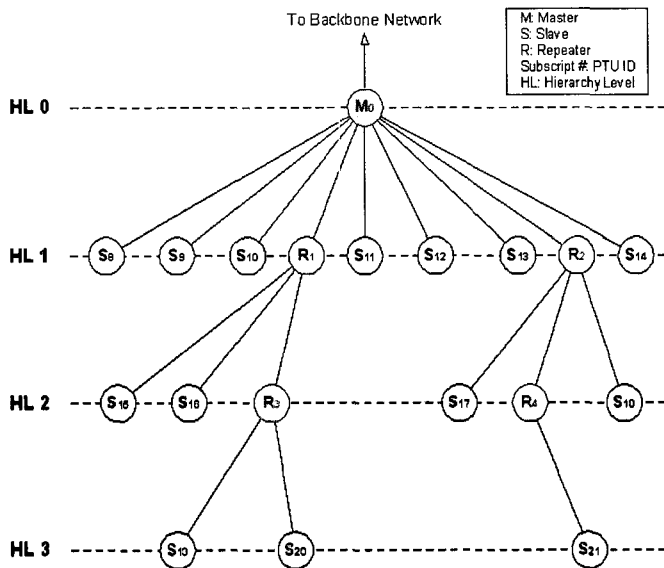
전력선 채널 특성을 고려하여 서비스 영역의 확장이 용이한 계층적인 HMAC(Hierarchical MAC)을

<표 2> XPLC21의 PHY 사양

| 항목 | 사양 | 비고 |
|---------------|------------------------------|-------------------|
| 사용 주파수 대역 | 2 MHz-23 MHz | |
| 변조 방식 | Packet-based DMT | 256 subchannels |
| Duplex 방식 | Half duplex | 상향/하향이 동일 주파수를 사용 |
| 심볼 주기 | 12.48 usec | |
| Payload 속도 | 24 Mbps | |
| 사용자 Data rate | 10 Mbps | TCP application |
| | 16 Mbps | UDP application |
| 오류 정정방식 | Convolutional code + RS code | Concatenated code |

개발하여 access network에 적용하였다. HMAC의 기본적인 구성도는 [그림 5]와 같고, HMAC은 Master, Repeater, Slave로 구성된다. 예를 들어 Master-M0와 Slave-S20 간에 통신이 원활치 못하는 경우 자동적으로 채널을 탐색하여 Repeater-R1과 Repeater-R3를 통해 통신된다. 또한 HMAC은 논리적으로 PLC를 구분하여 Multi-Master를 지원하는데, 설치의 편리성 및 서비스영역을 용이하게 확장할 수 있는 장점을 갖는다. <표 3>은 주요 HMAC의 사양으로, Multi-master 및 slave 지원개수를 보였다. HMAC은 slave 별로 별도의 암호 키를 사용하여 해킹이 불가능하고, Hidden node 즉 동일 논리그룹의 신호를 감지하지 못하는 상황에서 RTS(Request To Send)/CTS(Clear To Send) 신호를 사용하여 통신의 신뢰성을 향상시켰다.

설치의 간편성을 위해 CMAC(Cell-structured MAC)을 개발하여 home networking에 적용하였고, <표 4>는 주요 CMAC의 사양이다.



[그림 5] Tree 형태의 HMAC 구성



[그림 7] XPLC21 칩이 내장된 모델

호가 분리가 안된 상황에서도 논리적으로 분리하여 Multi-Master를 지원하게 된다. HMAC Slave는 각 수용가의 전력량계 근처에 설치되어 액세스 네트워크를 구성하고, HMAC Repeater는 액세스 네트워크의 서비스 범위를 확장하는 기능을 수행한다. HMAC Slave와 CMAC Station은 게이트웨이 형태로 구성이 가능하며, Home networking을 위한 CMAC Station 들은 Ad-hoc으로 구성되어 서로 간에 통신이 가능하다. [그림 7]은 XPLC21 칩이 내장된 CMAC Station 즉 PLC 모델이다.

V. PLC 발전방향

현재 각 국의 PLC 개발업체는 200 Mbps급의 초고속 PLC를 개발 중에 있으며, 스페인의 DS2 경우 200 Mbps급 프로토타입 모델을 개발 완료한 상황이다. 국내 젤라인의 경우도 2005년 초 50 Mbps급 PLC 칩 개발완료를 목표로 하며, 향후 고품질 멀티미디어 네트워크를 위해 200 Mbps급 PLC 칩 개발도 계획하고 있다. 이와 같은 초고속 PLC 개발로 무선의 문제점인 음영지역을 효과적으로 극복할 수 있기 때문에, 향후 급 부상할 것으로 예상되는 Home Entertainment 환경을 위한 최적의 방법으로 PLC가 평가되고 있다.

설치 및 사용의 편리성을 고려할 때 하나의 광대역 통신 solution으로 멀지 않은 시일 내에 고속 PLC가 자리를 잡을 것으로 예상되며, 고속 PLC를 사용한 access와 home networking 공존문제 등을 고려할 때 기술 표준화가 시급한 상황이다.

≡ 필자소개 ≡

임 수 빈



1987년 2월: 한양대학교 전자공학과(공학사)

1987년 3월~1989년 6월: 대영전자 기술연구소 연구원

1989년 7월~1998년 11월: 삼성종합기술원 선임연구원

1998년 12월~2000년 1월: 삼성전자 반

도체 System LSI 사업부 Network팀 선임연구원

2000년 2월~2000년 3월: 삼성종합기술원 디지털통신LAB 전문연구원

2000년 4월~현재: (주)젤라인 연구소장