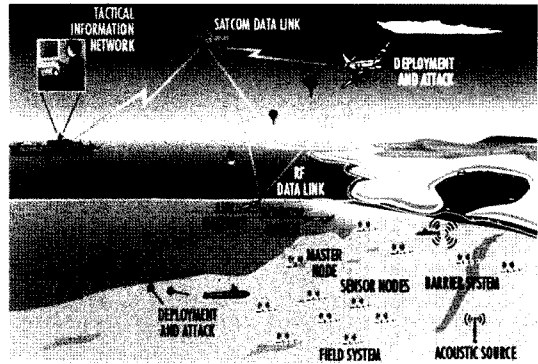


## 수중 NCW IT기술

이 균 경(경북대학교)

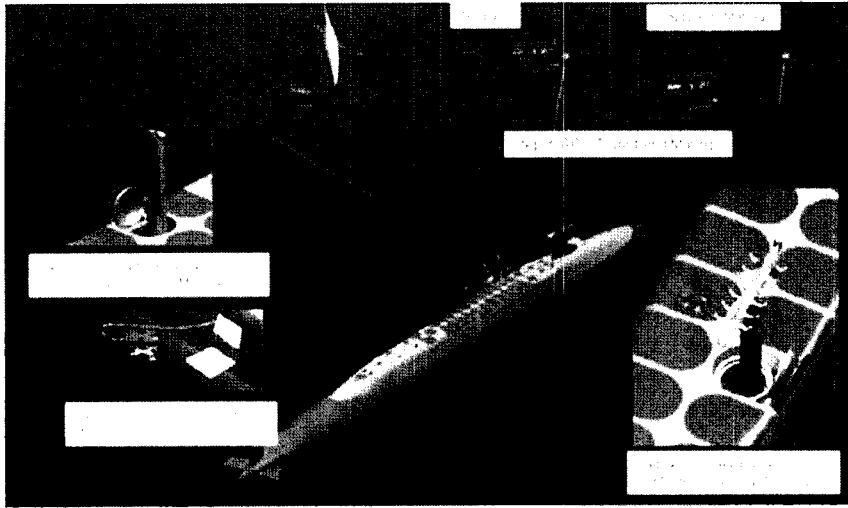
### 1. 수중 NCW

냉전시대가 종식됨에 따라 대잠수함전의 패러다임이 대양에서 핵잠수함을 탐지하던 기존의 목적에서 배경소음이 높은 연안해역에서 조용한 디젤잠수함을 탐지하는 것으로 바뀌고 있다. 이에 따라 적 잠수함이 발생시키는 소음을 탐지하는 수동형 소나의 탐지거리는 수백 km에서 수 km로 감소하는 추세이다. 그러므로 에너지를 방사하여 표적의 반향을 탐지하는 능동형 소나의 중요성이 다시 부각되었다. 그러나 천해에서는 표적의 반향뿐만 아니라 해수면 및 해저면에서의 잔향도 심하게 되돌아오므로 능동형 탐지도 쉽지 않은 문제이다. 선진국에서는 이에 대응하고자 수상함, 대잠초계기, 대잠헬기, 잠수함 등이 합동작전을 수행하는 다중상태(multistatic) 소나체계를 연구하고 있으며, 더 나아가 수중에 센서네트워크를 배치하여 표적을 분산탐지/추적/식별하는 수중 네트워크중심전(NCW: Network Centric Warfare) 개념을 정립해 나가고 있다<sup>1)</sup>.



〈그림 1〉 Seaweb 수중 센서네트워크

선진국에서 군사적 목적으로 개발하고 있는 대표적인 수중 센서네트워크로는 Seaweb<sup>2)</sup>과 PLUSNet<sup>3)</sup>을 들 수 있다. <그림 1>은 센서노드, 중계노드, 게이트웨이 등으로 이루어진 Seaweb 수중 센서네트워크를 나타내며 주요 해역의 감시망을 구성한다. Seaweb은 1998년부터 해상에서 실험중이며 수중 무선네트워크 통신 및 분산탐지 관련 연구를 수행하고 있다. <그림 2>는 핵잠수함이 전방에 안전영역을 확보하려고 AUV(Autonomous Underwater Vehicle)를 발진시키는 PLUSNet을 나타낸다. Seaweb보다는 좀 더 공격적인 개념이며 소수의 고정형 센서노드와 다수의 이동형 노드(AUV)로 구성된다. 그러므로 무선네트워크



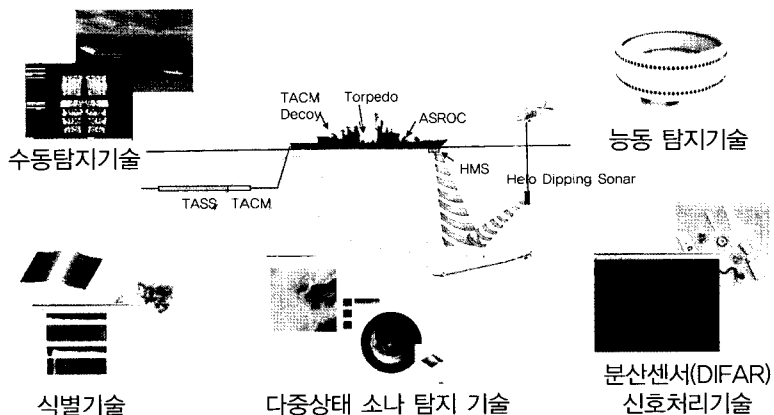
〈그림 2〉 PLUSNet 운용개념

통신에서 이동형 노드가 좀 더 중요하게 부각되며 AUV의 발진과 회수가 어려운 문제이다.

국내에서는 국방과학연구소의 주도하에 산학연 협동연구를 통하여 <그림 3>과 같이 수동 탐지기술, 능동탐지기술, 분산센서 신호처리 기술, 식별기술, 다중상태소나 탐지기술을 확보하고 있다. 또한, 2007년 4월 개소한 국방수중통신/탐지 특화연구센터에서는 수중 센서네

트워크에서의 무선통신을 기반으로 표적을 분산탐지/추적/식별하는, 한국 해양환경에 적합한 대잠전 개념 및 관련 기술을 연구하고 있다.

본 글에서는 수중 NCW 관련 IT 기술을 음파채널 모델링기술, 수중 센서네트워크 통신 기술, 분산탐지/추적/식별기술로 구분하여 논의한다.



〈그림 3〉 국내보유 탐지기술

## II. 음파채널 모델링기술

수중에서 전자기파는 매우 짧은 거리만 전파되므로 수중채널에서는 정보전달을 위하여 음파를 사용한다. 그러나 수중음향통신은 전달손실, 잡음, 다중경로, 전파지연, Doppler 확산 등의 영향을 받는다. 이들은 음파채널의 시간적, 공간적 변화를 결정하는 요소이며, 이에 의하여 수중음파채널의 가용대역폭은 제한되고, 거리 및 주파수에 따라 심하게 영향을 받는다. 예로서, <표 1>에서와 같이 수십 km의 거리에서 동작하는 장거리 시스템은 수 kHz의 대역폭을 가지며, 수십 m의 거리에서 동작하는 근거리 시스템은 100kHz 이상의 대역폭을 가질 수도 있다.

수중음향통신에 영향을 미치는 이러한 요소들을 요약하면 다음과 같다.

### 가. 전달손실

전달손실은 감쇠와 기하학적 확산으로 이루어진다. 감쇠는 주로 음향에너지가 열로 변환되는 흡수 작용에 기인하며, 거리와 주파수에 따라 증가한다. 기하학적 확산은 파면이 확산됨에 따라 음향에너지가 퍼지는 것을 의미하며 전파 거리에 따라 증가하고 주파수에는 무관하다.

<표 1> 수중음파채널에서 거리에 따른 가용대역폭

	Range[km]	Bandwidth[kHz]
Very long	1000	< 1
Long	10-100	2-5
Medium	1-10	≈10
Short	0.1-1	20-50
Very short	<0.1	>100

### 나. 잡음

잡음은 인공적 잡음과 주변잡음으로 구분된다. 인공적 잡음은 기계적 잡음(펌프, 감쇠기, 발전기)과 선체잡음(선체진동, 캐비테이션)에 기인한다. 주변잡음은 유체역학잡음(조수간만, 폭풍, 강우), 지진, 생물학적 잡음으로 구성된다.

### 다. 다중경로

다중경로에 의한 음파의 전달은 음향통신신호를 심하게 왜곡시키고 심별간 간섭(ISI: inter symbol interference)을 일으킨다. 다중경로는 송신기와 수신기의 배치 및 거리에 따라 많은 영향을 받는다.

### 라. 전파지연 및 전파지연 변동

수중 음파채널에서의 전파속도(1500 m/s)는 전자기파채널( $3 \times 10^8$  m/s)에 비해 배 정도 느리다. 이러한 심한 전파지연(0.67 s/km)과 전파지연의 변동은 시스템의 정보처리량(throughput)을 상당히 감소시킨다.

### 마. Doppler 확산

수중 음파채널에서의 Doppler 주파수 확산은 심각하며 디지털통신의 성능을 저하시킨다. 고속통신의 경우 수신기에서 인접 심별간의 간섭을 일으킨다. Doppler 확산은 단순한 주파수 변이와 주파수의 연속적 확산의 두 가지 효과를 나타낸다. 단순한 주파수 변이는 수신기에서 쉽게 보상이 가능하나 주파수의 연속적 확산은 보상하기가 쉽지 않다.

이러한 요소들의 변화에 따라 수중 음파채널은 시간적, 공간적으로 심하게 변화한다. 예로서, 해저면에 대하여 음선의 방향이 수직인

수직채널보다는 수평채널이 훨씬 급속히 변화한다. 이러한 변화들이 수중 센서네트워크 통신에 미치는 영향을 평가하려면, 신뢰할 수 있는 음파채널 모델링기술을 획득하는 것이 중요하다.

채널 모델링기술은 <그림 4>와 같이 분류할 수 있다.

경로손실모델은 수신된 신호의 크기를 예측하고자 주로 수중음향학 분야에서 사용하는 기법이나 신호의 간섭현상(ISI)이나 신호변동(signal fading) 등을 잘 표현하지 못한다. 무선 통신에 주로 사용되는 모델은 통계적 채널모델링과 결정론적 채널모델링으로 구분된다. 통계적 채널모델은 채널의 통계적 특성을 이용하여 모델링하며 통신분야에 사용하기 적합하나 다양한 실제 환경을 고려하기는 쉽지

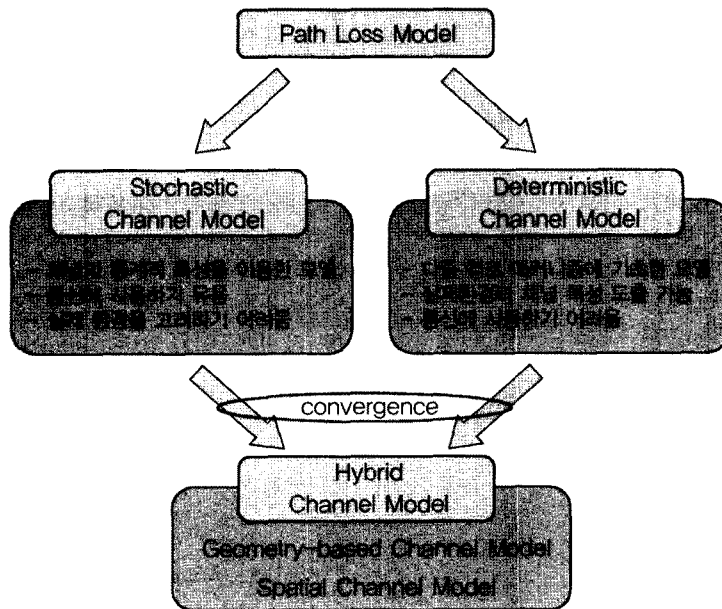
않다. 결정론적 채널모델은 다중경로 메커니즘에 기초한 모델로서 실제 환경의 채널특성 도출이 가능하나 통신분야에 적용하기 쉽지 않다. 최근에는 이들 두 가지 모델링 기법의 장점을 결합하는 방향으로 하이브리드 채널 모델링 연구가 시도되고 있다.

### Ⅲ. 수중 센서네트워크 통신기술

지상 센서네트워크에 비해 수중 센서네트워크는 앞에서 기술한 음파채널의 제약조건 이외에 다음과 같은 문제점을 가지고 있다.

#### 가. 비용

지상의 센서노드에 비해 수중의 센서노드는 상대적으로 고가이다. 이는 수중 송수신기가



<그림 4> 무선통신 채널모델링 기술

더 복잡하고 수중의 극단적 환경에 견딜 수 있어야 하기 때문이다.

#### 나. 배치

지상 센서네트워크는 밀집형 배치가 가능하나 수중에서는 비용문제와 배치 자체의 어려움으로 인하여 드문드문 배치될 가능성이 크다.

#### 다. 전력

수중 센서네트워크는 센서 간의 상대적으로 긴 거리, 음파채널의 장애를 보상하기 위한 복잡한 신호처리, 통신에 사용되는 상대적으로 큰 전력 등으로 지상 센서네트워크에 비하여 많은 전력이 소요된다. 또한, 태양전지의 이용이 불가능하므로 충전문제도 쉽지 않다.

#### 라. 메모리

수중 센서네트워크에서는 데이터통신이 간헐적일 수 있으므로 상대적으로 많은 데이터를 메모리에 저장해야 할 필요성이 있다.

#### 마. 공간적 상관관계

지상 센서들의 측정값은 상관관계가 높은 경우가 많으나, 수중센서 네트워크는 센서간의 간격이 크므로 공간적 상관관계가 낮을 수 있다.

일반적으로 수중 센서네트워크의 프로토콜 스택은 물리계층, 데이터링크계층, 네트워크계층, 트랜스포트계층으로 이루어진다. 수중 센서네트워크가 가지는 부가적인 제약점 하에서 네트워크 효율을 개선하려면 계층 간 통합설계(cross-layer design)가 요구된다. 각 계층에서 요구되는 기술을 요약하면 다음과 같다<sup>5)</sup>.

## 1. 물리계층

가장 먼저 시도된 수중 모뎀은 에너지탐지에 근거한 비동기식 FSK(Frequency Shift Keying) 방법이다. 이 기법은 전력 효율은 높으나 대역폭 효율이 낮아 고속 센서네트워크에 적합하지 않다. 최근 디지털 신호처리 능력이 증대됨에 따라 PSK(Phase Shift Keying), QAM(Quadrature Amplitude Modulation)과 같은 동기식 변조기법이 적용되는 추세이다. 수중통신에서 기대되는 다른 기법으로는 심한 다중경로 환경에서 견실하게 동작하고 스펙트럼 효율이 높은 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 기법이 있다.

예상되는 연구분야는 다음과 같다.

- 저렴한 송수신 모뎀 개발
- 저에너지 소모, 고속수렴 준 최적 필터 설계
- PLL(Phase Locked Loop)과 DCE(Decision Feedback Equalizer)의 결합에 기인한 안정화 문제

## 2. 데이터링크계층

수중통신 데이터링크 설계기술은 자원 액세스 기술, 동기화기술, 오류제어(재전송) 기술로 구분된다. 자원 액세스기술은 FDMA(Frequency Division Multiple Access), TDMA(Time Division Multiple Access), CDMA(Code Division Multiple Access)로 분류되는 비경쟁방식과 랜덤액세스, RTS(Request To Send)/CTS(Clear To Send)의 handshaking을 이용하는 경쟁방식으로 나누어 볼 수 있다.

FDMA는 수중채널과 같이 좁은 대역폭을 갖는 채널환경에서는 대역폭 효율성이 떨어

지며 신호변동과 다중경로에 취약하다는 단점을 가지며, TDMA는 수중통신 환경의 특징인 긴 전송지연 때문에 정확한 시간동기를 맞추기 어렵다. CDMA는 다중경로에 의한 주파수 선택적 신호변동에 강하다. 이는 많은 노드로부터 동시에 전송되는 신호를 확산코드를 통하여 구분할 수 있기 때문이다. 이러한 CDMA의 특징은 채널의 재사용을 증대시키고 패킷의 재전송을 감소시킨다. 또한, 센서네트워크에서의 문제점인 에너지 소모를 줄이고 전송률을 증대시킨다. 이러한 장점에도 불구하고 CDMA는 풀어야 할 문제점들이 남아 있어 이에 대한 연구들이 진행 중이다.

예상되는 연구분야는 다음과 같다.

- CDMA에서 높은 자기상관성과 낮은 상호상관성을 갖는 코드설계와 코드를 각 노드에 분배하는 문제에 대한 연구
- 네트워크 효율을 극대화하기 위한 데이터 패킷 길이 최적화
- 낮은 복잡도의 부호기와 복호기 설계
- 분산형 프로토콜 설계

### 3. 네트워크계층

네트워크계층에서는 출발지 노드와 목적지 노드 사이의 경로를 결정한다. 일반적으로 수중음파채널이 가지는 제약점들은 물리계층이나 데이터링크계층에서 대응하지만, 심각한 전파지연문제는 네트워크계층에서도 다루어져야 한다. 그러므로 전자기파통신 센서네트워크에서 개발된 ad hoc 무선네트워크의 라우팅 프로토콜을 수중 센서네트워크에 직접 적용하기에는 문제가 있다.

예상되는 연구분야는 다음과 같다.

- 수중음파채널의 간헐적 연결상태를 고려한 라우팅 알고리즘을 개발하기 위하여 데이터링크계층, 트랜스포트계층과 통합 설계
- 네트워크계층에서의 데이터전송 동역학을 잘 이해하기 위한 정확한 모델링 연구
- 수중 음파채널 환경의 변화에 기인한 에너지효율 성능척도의 변동에 대응하기 위한 국부적 라우팅 최적화 알고리즘 개발

### 4. 트랜스포트계층

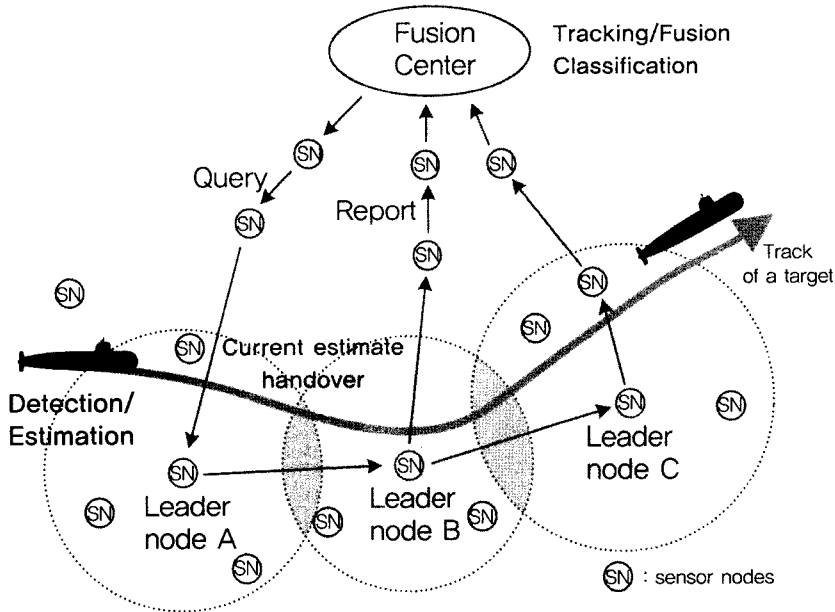
트랜스포트 프로토콜은 혼잡을 완화하고, 패킷손실을 줄이고, 대역폭 할당에서의 공정성을 제공하고, 종단 간의 신뢰성을 보장하고자 사용한다. 그러나 수중 센서네트워크에서의 트랜스포트계층은 거의 연구된 바가 없다.

예상되는 연구분야는 다음과 같다.

- 노드의 우선순위를 지원해 줄 수 있는 트랜스포트 프로토콜의 개발
- 다중경로 라우팅의 고려
- 혼잡제어와 패킷손실 복구 이외에 성능 최적화, 에너지효율성 등 다른 성능척도도 고려
- 계층 간 통합설계 관점에서 접근

## IV. 분산탐지/추적/식별기술

수중 센서네트워크에서 수집된 데이터의 처리문제는 신호/정보처리 연구분야에 새로운 도전과제이며 새로운 패러다임을 요구한다.



<그림 5> 수중 센서네트워크에서의 분산탐지/추적/식별 과정

단일 플랫폼에서의 다양한 신호/정보처리 과정에 더불어 센서네트워크에서의 신호/정보 처리에는 에너지 효율, 네트워크 시간지연, 고장 내구성 등의 제약조건이 부가된다. 예로서, <그림 5>와 같이 수중 센서네트워크를 이용하여 잠수함을 분산탐지/추적/식별하는 협동 신호/정보처리(CSIP: Collaborative Signal and Information Processing) 문제에서는 정보 효율성 성능척도와 더불어 그에 따르는 비용 성능 척도도 더불어 고려하면서 센서간의 협동을 결정하여야 한다<sup>6)</sup>. <그림 5>에서 잠수함은 왼쪽에서 오른쪽으로 이동한다. 정보융합센터에서의 질의가 으뜸 노드 A에 경로를 통하여 전달되면 노드 A는 관리하에 있는 노드들의 협조하에 탐지된 표적의 초기 추정값을 구한다. 그다음 노드 A는 적절한 비용하에 최적의 추정값을 제공할 것으로 예상하는 으뜸 노드 B를 선정하여 정보를 이전한다. 이 과정은 반

복되며 적절한 시점에 표적 추정값은 가장 낮은 비용의 경로를 통하여 정보융합센터에 전달된다. 각 분산 센서노드 또는 정보융합센터에서 추적/융합 및 식별이 수행될 수 있다.

예상되는 연구분야는 다음과 같다.

- 분산 센서네트워크에서 획득한 많은 수의 다중상태 정보를 CSIP를 통하여 의미 있는 전체영역 정보(탐지/추적/식별)로 변환하는 연구
- 분산 센서네트워크에서 생성된 시간 비동기 정보를 처리하는 기술
- 에너지 및 통신채널 제약조건에 의하여 알고리즘이 도중에 중단되더라도 그 결과가 어느 정도 보장되는 power-aware 및 channel-aware 신호/정보처리<sup>7)</sup>
- 신호처리, 정보융합, 질의, 라우팅 등의 작업에서 신호/정보처리 비용과 통신 비

용의 균형을 맞추기 위한 신호/정보처리와 네트워크 라우팅의 통합연구

- 연안해역에서 운용되는 센서네트워크의 수명연장에 큰 영향을 미치는 오경보를 감소시키기 위한 분산센서단에서의 수상함과 잠수함 식별문제

## V. 결론 및 향후전망

지난 20여 년간 국방과학연구소의 주도하에 수행한 산학연 협동연구의 결과로, 외국에서 대잠전체계를 전량 수입해서 운용만 하던 단계에서 국내 개발한 대잠전체계를 탑재하고 운용하는 시대가 되었다. 앞으로 전개될 수중 네트워크중심전(NCW)에서도 2007년 설립된 국방 수중통신/탐지 특화연구센터의 참여연구원과 국내 관련 연구원들과의 학제간 협동연구를 통하여 선진국의 기술 수준을 따라잡을 수 있을 것으로 판단한다.

### 참고문헌

- [1] "Network Centric USW-Exploring the Realities," Newsletter of the Sea Power Centre Australia-Issue 12, November 2004
- [2] Joseph A. Rice, Robert K. Creber, Christopher L. Fletcher, Paul A. Baxley, Kenneth E. Rogers, and Donald C. Davison, "Seaweb Underwater Acoustic Nets," SSC San Diego Biennial Review 2001, p.234-250, Aug. 2001
- [3] Marc S. Stewart, "A Means to Networked Persistent Undersea Surveillance," Proceedings, Submarine Technology Symposium, p.16-18, May, 2006

- [4] Ian F. Akyildiz, Dario Pompili, Tommaso Melodia, "Underwater acoustic sensor networks: research challenges," Ad Hoc Networks Volume 3, Issue 3, May 2005, Pages 257-279.
- [5] Jim Partan, Jim Kurose and Brian Neil Levine, "A Survey of Practical Issues in Underwater Networks," Proceedings of the 1st ACM international workshop on Underwater networks, p.17-24, Sep. 25, 2006
- [6] Feng Zhao; Jaewon Shin; Reich, J., "Information-driven dynamic sensor collaboration," Signal Processing Magazine, IEEE , vol.19, no.2, pp.61-72, Mar 2002
- [7] S. Hamid Nawab, Alan V. Oppenheim, Anantha P. Chandrakasan, Joseph M. Winograd and Jeffrey T. Ludwig, "Approximate Signal Processing," Journal of VLSI Signal Processing Systems, v.15 n.1-2, p.177-200, Jan. 1997

### 저자소개



이 군 경

1973년 3월-1977년 2월 서강대학교, 전자공학 공학사  
 1982년 8월-1984년 5월 University of Texas at Austin, 전자공학 공학석사  
 1984년 6월-1987년 8월 University of Texas at Austin, 전자공학 공학박사  
 1977년 3월-1982년 8월 국방과학연구소, 연구원  
 1987년 8월-1989년 6월 Oklahoma State University, 조교수  
 1989년 6월-현재 경북대학교 전자전기컴퓨터학부, 교수  
 2007년 4월-현재 수중 통신/탐지 특화연구센터, 소장  
 주관심 분야 : 수중음향신호처리, 표적위치추정, 표적탐지 및 추적, 분산센서망 표적탐지