

로봇 물고기 요소 기술 및 동향

이동화·명 현·김종환 (KAIST)

I. 서론

최근 생물체를 모방한 로봇이 많이 개발되고 있다. 생물체는 환경에 최적화된 고도의 시스템으로, 그 원리를 공학에 적절히 이용하여 고효율의 시스템을 개발할 수 있다. 그 중 해양에 대한 관심이 높아지면서 로봇 물고기의 개발이 많이 이루어지고 있다.

수중 로봇은 임무 수행을 위해 추진력을 이용하여 이동한다. 기존의 프로펠러 혹은 스크류 형태의 추진기는 생성되는 운동 에너지가 물의 회전 에너지로 소모되기 때문에 에너지 효율이 낮고 캐비테이션(cavitation)의 발생으로 소음이 심하다는 단점이 있다. 또한 넓은 선회 반경으로 인해 긴 회전 시간을 가진다. 반면 수중 환경에 최적화된 물고기는 물속에서 최대 효율을 낼 수 있는 몸의 구조를 가지고 있다. 실제 물고기의 유영 형태를 모방한 로봇 물고기는 기존의 프로펠러 혹은 스크류를 이용한 수중 로봇보다 에너지 효율이 높고 순간적인 빠른 움직임과 회전이 가능하다. 그리고 불필요한 소음을 줄일 수 있어 수중 생태계에 미치는 피해가 적기 때문에, 군사적 목적 및 수족관의 관람용으로도 활용이 가능하다.

초기의 로봇 물고기 개발은 유영 메커니즘의 구현을 위한 수학적 모델링 및 기계 구조의 설계, 동력 장치의 개발에 중점을 두었으며, 외부에서 로봇 물고기의 행동을 결정하여 명령을 전달하는 방식으로 이루어졌다. 최근에는 보다 자율적인 로봇 물고기의 운용을 위해 초음파, 비전 센서 등을 이용한 장애물 회피 및 환경 인식, 위치 인식 시스템이 개발되고 있다.

본 고는 현재 관심이 고조되고 있는 로봇 물고기의 요소 기술에 대한 소개 및 전반적인 현황에 대해 소개하고자 한다. 본 고의 구성은 제 II절에서는 로봇 물고기의 요소 기술에 대

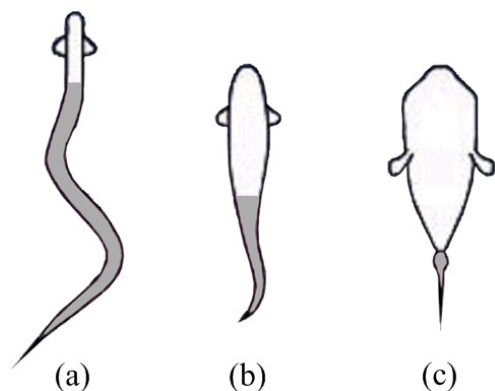
해 살펴보고, 제 III절에서는 기술 동향을, 그리고 마지막으로 제 IV절에서는 향후 전망에 대해 살펴본다.

II. 로봇 물고기 요소 기술

1. 유영 메커니즘

물고기는 수중에서의 이동을 위해 몸 전체 혹은 꼬리만을 이용하여 정교한 움직임을 만들어 낸다. 이러한 물고기의 운동은 동물학자 C. M. Breder[1]에 의해 <그림 1>과 같이 크게 세 가지 형태로 분류되었으며, 각각의 특징은 아래와 같다.

- Anguilliform: 뱀장어의 형태로 온몸을 흔들면서 추진한다. 빠른 속도를 내지는 못하나 좁은 공간에서 이동이 쉽다.
- Carangiform: 참치, 연어와 같은 형태로 몸통과 꼬리 부분을 흔들어 추진한다. 가장 빠른 속도를 낼 수 있다. 일반적으로 가장 흔한 형태이다.
- Ostraciiform: 꼬리 부분만을 흔들어 추진한다. 주로 작은



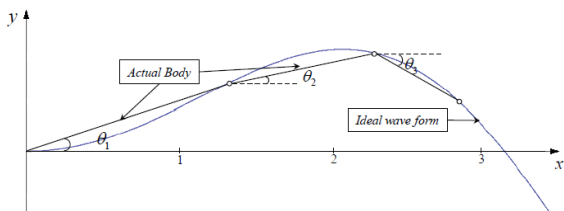
<그림 1> 물고기의 세 가지 유영 형태. (a) Anguilliform, (b) Carangiform, (c) Ostraciiform

물고기의 추진 방법이며 빠른 이동 속도를 보여주지는 못하나 순간적인 방향 전환과 같은 움직임에 유리하다.

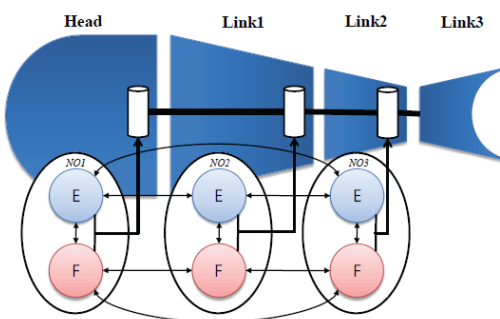
실제 모터의 구동과 기계적인 설계 등을 고려할 때 첫 번째 형태인 anguilliform은 구조가 복잡해지고 유연 동작의 모델링에 많은 어려움이 발생한다. 반면 carangiform의 경우 비교적 적은 관절을 이용하여 가장 빠른 이동 속도를 낼 수 있다. 그래서 현재 개발되고 있는 로봇 물고기는 기본적으로 carangiform의 유연성을 모사한다. Ostraciiform의 경우 구조가 간단하고 쉽게 구현이 가능하여 전역 비전 센서를 이용한 로봇 물고기 군집 제어, 협력 작업 수행 등의 연구에 주로 사용되고 있다.

로봇 물고기의 유연 모델은 1960년대 Lighthill이 제안한 유연 패턴식이 주로 쓰인다^[2]. <그림 2>는 유연 패턴식으로부터 구해진 carangiform 웨이브와 그 웨이브를 추종하는 로봇 물고기의 조인트 각을 보여준다. 로봇 물고기는 유한한 개수의 관절과 몸체로 구성되어 있어 실제 물고기의 이상적인 유연한 동작을 만드는 것은 거의 불가능하다. 그래서 로봇 물고기에서는 유연 웨이브 곡선과의 오차를 최소화 하는 방향으로 조인트의 값을 생성시켜, 최대한 실제 물고기와 유사한 동작 패턴을 만드는 것이 중요하다.

로봇 물고기의 유연 패턴식을 추종하기 위한 각 조인트의 값은 무수한 많은 경우의 수를 가진다. 이러한 조인트 값의 효율적인 연산을 위해 최근에는 중앙패턴생성기 (Central Pattern Generator, CPG) 개념을 이용하여 유연 패턴의 궤적을 추종한다^[3]. 생물의 중추 신경계인 CPG는 반복적인 행동을 생성하는 역할을 담당한다. <그림 3>은 세 개의 조인트로



<그림 2> Carangiform 웨이브와 로봇 물고기의 몸통과 조인트 각도로 만들어진 웨이브 형태



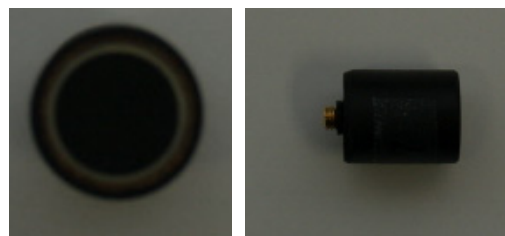
<그림 3> 세 개의 조인트로 구성된 물고기 로봇 CPG의 구조

구성된 로봇 물고기의 CPG 구조이다. 각 조인트마다 뉴럴 오실레이터(neural oscillator)가 존재하며, CPG의 수학적 모델에 따라 적은 수의 파라미터 변화에도 다양한 형태의 주기적인 운동 패턴을 생성시킨다. 또한 피드백을 넣을 경우 강인한 신호가 발생된다는 장점이 있다.

2. 장애물 회피

초기의 로봇 물고기는 장애물 탐지를 위해 적외선 센서를 사용하였다. 적외선 센서는 구현이 쉽고, 초음파 센서에서 발생하는 잔향과 같은 노이즈가 거의 없다는 장점이 있다. 그러나 탐지 거리가 1m 이하로 비교적 짧고, 외부 광원과 물의 탁도에 영향을 많이 받아 실제 강이나 호수에서는 사용하기 힘들다. 또한 유리나 같은 투명한 장애물은 적외선이 투과되어 버리므로 수족관에서 관람객을 위해 설치된 유리벽은 탐지하기 어렵다.

<그림 4>는 수중용 초음파 센서의 외관이다. 초음파 센서는 광량이나 탁도의 영향을 받지 않고 2m 이상의 장애물 탐지 거리를 가진다. 또한 장애물의 재질에 크게 영향을 받지 않는다. 그러나 좁은 공간에서 초음파를 발생시킬시 여러 방향에서 잔향이 발생하여 장애물 탐지 성능이 크게 저하되는 단점이 있다. 하지만 대체적으로 적외선 센서보다 좋은 탐지 성능을 보여주고 있다.



<그림 4> 수중용 초음파 센서

3. 위치 인식

현재 로봇 물고기의 위치 인식 기술은 크게 초음파 센서를 이용하는 방식과 비전 센서를 이용하는 방식으로 나눌 수 있다.

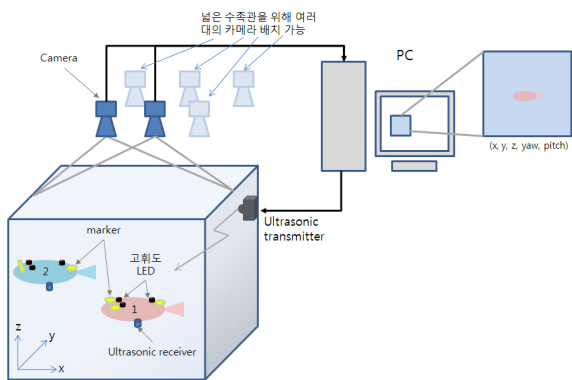
초음파 센서를 이용하는 방식은 수중 환경에 초음파 비컨을 설치한 후, 로봇 물고기의 초음파 수신 센서를 통해 각 비컨에서 보내는 신호를 감지하여 자신의 위치를 알아내는 방식이다. 최소 세 개 이상의 비컨 신호를 감지한 후 삼각법을 이용한 위치 추정이 가능하다. 초음파를 이용한 위치 인식 방식은 좁은 수조 보다는 넓은 야외 환경에서 더 유리하다. 좁은 공간에서는 송신된 초음파 신호가 직접 수신되는 신호와 벽에 반사되어 수신되는 신호와 겹쳐 위치 측정에 어려움이

발생한다.

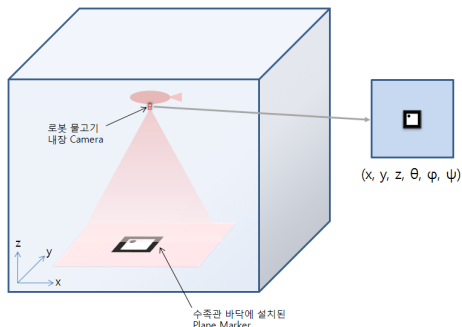
비전 센서를 이용한 위치 인식은 전역 비전을 이용하는 방식과 로봇의 내부 비전 센서를 이용하는 방식으로 나뉜다.

〈그림 5〉는 전역 비전을 이용한 로봇 물고기 위치 인식 시스템을 나타낸다. 한 대 이상의 카메라가 수족관 상단에 설치되며 카메라와 연결된 외부 PC에서 영상 처리가 이루어진다. 카메라에서는 로봇 물고기 몸체의 색 정보와 고휘도 LED 또는 마커의 형태 등을 이용하여 로봇 물고기의 위치 및 자세 정보를 얻어낸다. 영상 처리를 통해 얻어진 정보는 수족관의 저주파 RF 혹은 초음파 통신 송신기를 통해 각각의 로봇 물고기에게 전달된다. 전역 비전을 이용한 시스템은 로봇 물고기의 자율 운동을 위한 위치 인식에는 한계가 있으며, 현재 로봇 물고기의 군집 이동 및 협력 작업을 위한 위치 인식 시스템에 주로 사용된다.

로봇의 자율 운동을 위해서는 자체 비전 시스템이 반드시 필요하다. 〈그림 6〉은 평면 마커와 로봇 물고기 내장 카메라를 이용한 위치 인식 시스템이다^[4]. 카메라는 물고기의 하단에 부착되며 카메라의 마커에 대한 6자유도 추정 기법을 이용, 로봇 물고기의 위치를 인식할 수 있게 된다. 영상 처리는 내부의 프로세서에서 수행된다. 마커의 기본 형태는 〈그림 7〉과 같다. 일정한 두께의 검은 테두리로 사각형을 만들며 내부에 검은 점을 표시한다. 검은 테두리로서 마커의 사각형 형태



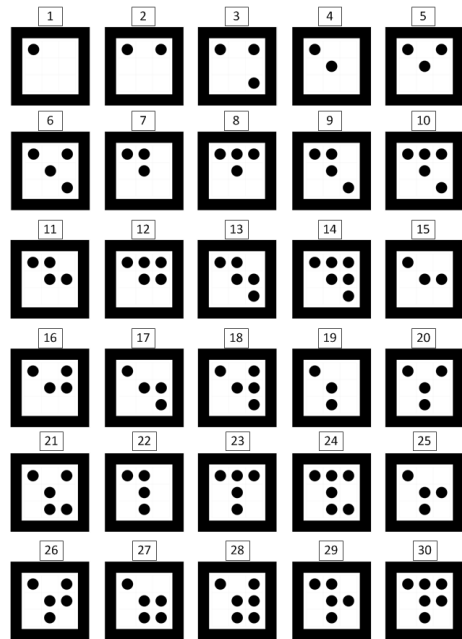
〈그림 5〉 Global 비전을 이용한 로봇 물고기 위치 인식 시스템



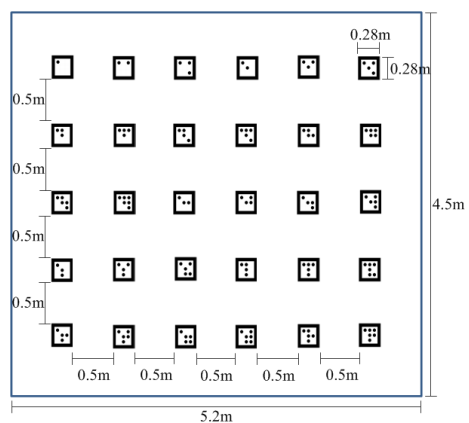
〈그림 6〉 평면 마커와 내장 카메라를 이용한 로봇 물고기 위치 인식 시스템

를 파악하며, 내부의 검은 점으로 마커의 방향과 ID를 판단한다. 그리고 카메라에서 촬영된 마커 영상에 대한 호모그래피(homography)를 이용, 마커에 대한 카메라의 6자유도를 구할 수 있다.

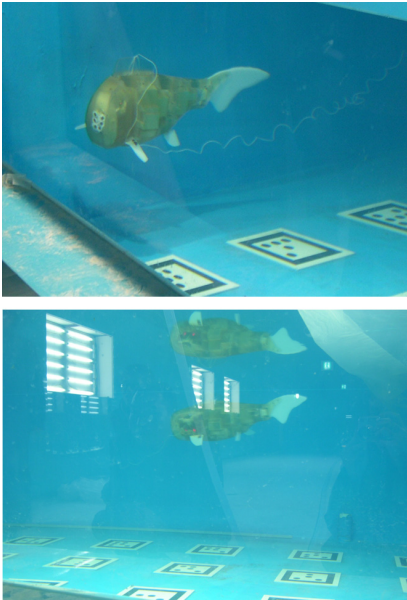
현재 본 시스템은 대전 아쿠아월드 로봇관에서 로봇 물고기의 지능적인 자율 유영을 위해 사용되고 있다. 로봇 물고기 전시관의 수족관 크기는 가로 5.2m, 세로 4.5m, 높이 1.4m이다. 본 수족관에서 0.5m 이상으로 로봇 물고기가 유영할 시, 어느 곳에서든 위치인식이 가능하도록 30개의 마커가 배치되었다. 마커의 배치도는 〈그림 8〉과 같다. 로봇 물고기는 수족관의 넓이와 같은 사전 정보를 가지고 실시간으로 갱신되는 자신의 현재 위치를 이용해 수족관 벽과의 충돌이 없는 자율 유영이 구현되었다(그림 9).



〈그림 7〉 30개의 평면마커



〈그림 8〉 수족관 바닥에 배치된 30개의 마커



〈그림 9〉 자체 위치 인식 시스템이 적용된 로봇 물고기 자율 유영

Ⅲ. 로봇 물고기 연구 동향

최초의 물고기 로봇은 1995년 MIT에서 개발된 8개의 링크로 이루어진 'RoboTuna'이다^[5]. 그 이후 개발된 'RoboPike'는 유연성이 있는 앞부분과 꼬리지느러미를 이용하여 보다 효율적인 움직임을 보이며, RoboTuna에 비해 오랜 시간 임무를 수행한다. 일본의 키타큐슈대학교에서는 붉은 도미의 형상을 한 로봇 물고기를 제작하였고, 미츠비시중공업에서는 고생대 물고기인 실러캔스 형태를 한 로봇 물고기를 만들었다. 영국의 Essex대학에서는 G series와 MT series의 로봇 물고기를 개발하였으며, BMT 그룹과의 공동개발을 통해 자율 유영을 하며 수질 오염을 측정할 수 있는 로봇 물고기를 개발하고 스페인 해안가에서 그 임무를 수행하는 프로젝트를 진행 중에 있다^[6]. 초기 로봇 물고기의 개발은 기구 설계와 유영 메커니즘에 초점이 맞춰져 있었다. 최근 중국 북경 대학(Peking University)에서는 꼬리와 가슴지느러미만을 이용하여 방향 전환과 상하 운동이 가능한 로봇 물고기를 개발하고, 전역 비전 위치 인식 시스템을 이용하여 장애물 회피 및 군집 이동, 협동 작업을 수행하는 등의 연구를 진행하고 있다^[7]. 그리고 좀 더 효율적인 로봇 물고기의 유영을 분석하기 위한 경우에도 전역 비전 시스템이 많이 이용되고 있다.

국내에서는 최근 환경감시나 생태계 조사를 위한 새로운 기술로 로봇 물고기의 관심이 커지고 있다. 실제 물고기의 외형과 해부학적 형태를 본 따 등뼈를 만들고 그것을 이용하여 동력을 전달하는 국내 최초 로봇 물고기 'ROFI'가 2006년에서 서울대에서 개발되었다. 그리고 생산기술연구원(KITECH)에서는 '익투스'라는 로봇 물고기를 개발하였다^[8]. 1회 충전으로

수중에서 4시간 정도의 유영이 가능하며, 관광용으로 제작된 '익투스 1'과 '익투스 2'와는 달리 '익투스 3'는 수중 탐사용으로 개발되고 있으며, 수상에서는 위성항법장치(GPS), 수중에서는 수심 센서와 음향탐지기(sonar)를 이용하여 위치 인식 및 환경 인식을 할 수 있는 기술이 활용될 예정이다. 로봇 전문 기업인 에스알시(주)는 리모컨 제어 방식의 소형 로봇 물고기를 개발하였다^[9]. 서보모터를 이용한 2개의 관절로 몸체가 구성되며 빠른 방향 전환을 보여준다. 현재 다양한 크기의 로봇 물고기를 개발 중이며 2012년 여수세계박람회에서 지능을 가지고 관람객과 상호 작용이 가능한 로봇 물고기가 전시될 예정이다. 최근 KAIST에서는 아쿠아리움 전시를 위한 로봇 물고기 'FIBO'를 개발하였다^[4]. 외형은 고생대 물고기인 던클레오스테우스(Dunkleosteus terrelli)를 본따 만들어졌는데, 1m 내외의 길이에 3개의 관절을 가지고 있으며, 전방에는 장애물 탐지를 위한 초음파 센서가 장착되어 있다. 수족관 위치 인식을 위하여 물고기 머리 하단 부분에는 카메라가 장착되어 있으며, 수족관 바닥의 평면 마커를 실시간 촬영하여 로봇 물고기 스스로 자신의 위치를 파악하게 된다.

Ⅳ. 향후 전망

생체 모방형 로봇의 한 부분으로 시작된 로봇 물고기는 현재 차세대 수중 로봇으로의 개발을 위한 다양한 기술이 적용되고 있다. 앞서도 살펴보았듯이 그 구조에 있어서 다른 수중 로봇에 비해 에너지 효율이 높으며 소음이 적다는 장점이 있다. 반면 물고기의 유영 동작은 제어가 상대적으로 힘들기 때문에 이와 관련해 최근 많은 연구가 이루어지고 있다. 초기의 로봇 물고기는 기계적인 구조와 유영 메커니즘을 중심으로 개발되었다. 많은 안정적인 유영 메커니즘의 개발로 최근에는 자율 유영을 위한 장애물 회피, 위치 인식 시스템, 군집 이동 등에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 하지만 이러한 연구는 대부분 인공적인 수조와 같은 공간에서 진행되고 있으며, 실제 환경(강, 바다 등)에 적용하기까지는 더 많은 연구가 필요하다. 일례로 앞에서 기술한 자체 비전을 이용한 위치 인식 기술은 현재 인공 마커 인식을 통해 구현되었으며, 차후 바위나 해초와 같은 자연계의 대상체를 인식하는 기술의 적용이 필요하다.

수중에서의 효율적인 유영을 보이는 물고기의 모사는 새로운 로봇 연구 분야의 한 축으로 자리 매김하였다. 차후 로봇 물고기의 지능적인 자율 유영에 대한 여러 연구를 통해 해양학 및 생태학, 군사적인 활용에 큰 기여를 할 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] C. M. Breder, "The locomotion of fishes," Zoologica, Vol.4, 1926, pp.159-256
- [2] M.J. Lighthill, "Note on the swimming of slender sh," The Journal of Fluid Mechatronics, Vol.9, pp.305-317, 1960.
- [3] K.-I. Na, C.-S. Park, I.-B. Jeong, S. Han and J.-H. Kim, "Locomotion Generator for Robotic Fish Using an Evolutionary Optimized Central Pattern Generator," in Proc. IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, Dec. 2010.
- [4] 이동화, 김동훈, 명현, "평면 마커를 이용한 로봇 물고기 위치 인식 시스템," ICROS Annual Conference 2011, 광주 조선대, May 27-28, 2011.
- [5] M. S. Triantafyllou and G. S. Triantafyllo, "An efficient swimming machine," Sci. Amer., Vol.272, Mar. 1995, pp.64-70.
- [6] J. Liu, I. Dukes, H. Hu, "Novel Mechatronics Design for a Robotic Fish," IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.807-812, 2005.
- [7] Y. Hu, W. Zhao, and L. Wang, "Vision-Based Target Tracking and Collision Avoidance for Two Autonomous Robotic Fish," IEEE Trans. Industrial Electronics, Vol.56, No.5, May 2009.
- [8] 정창현, 이상호, 김경식, 차유성, 류영선, "생체모방형 물고기 로봇 '익투스'의 동적 해석을 위한 DOE를 이용한 입력파라미터 최적화," 제어·로봇·시스템학회 논문지, 제16권, 제8호, pp.799-803, 2010.
- [9] <http://www.robotsrc.com>



이 동 화

2005년 2월 경북대학교 전자전기공학부 학사
 2010년 2월 경북대학교 대학원 전자전기컴퓨터학부 석사
 2010년 2월~현재 KAIST 건설 및 환경공학과 박사과정
 2005년 3월~2008년 1월 (주)비앤디 선임연구원
 <관심 분야> 로봇 네비게이션, 수중 로봇, 수중음향신호 처리



명 현

1992년 2월 KAIST 전자전산학 학사
 1994년 2월 KAIST 전기 및 전자공학 석사
 1998년 8월 KAIST 전기 및 전자공학 박사
 1998년 9월~2002년 2월 한국전자통신연구원(ETRI) 선임연구원
 2002년 2월~2003년 6월 (주)이머시스 연구소장/기술이사
 2003년 7월~2008년 2월 삼성전자종합기술원 전문연구원
 2008년 3월~현재 KAIST 건설 및 환경공학과 교수
 <관심분야> 로봇 네비게이션, 건설로봇, 수중/수상 로봇, 소프트웨어



김 종 환

1981년 2월 서울대학교 전자공학 학사
 1983년 2월 서울대학교 전자공학 석사
 1987년 8월 서울대학교 전자공학 박사
 1988년~현재 KAIST 전기 및 전자공학과 교수
 2004년~2006년 KAIST 로봇공학학제전공 전공 책임 교수
 2003년~현재 Griffith University, Australia 겸임 교수
 1997년~현재 FIRA(세계로봇축구연맹) 회장
 1999년~현재 IROC(국제로봇올림픽아드 위원회) 회장
 2009년~현재 IEEE Fellow
 <관심분야> 로봇 지능, 지능 제어, 소프트웨어