

다수의 모터를 활용한 로봇관절 구조 설계

문용선* · 노상현** · 조광훈*** · 배영철****

Design of Robot Joint Structure using Multiple Motors

Yong-Seon Moon* · Sang-Hyun Roh** · Kwang-Hun Jo*** · Young-Chul Bae****

요약

본 논문에서는 모터 설계에서 기존의 단일 모터를 사용한 구동 구조의 단점을 보완하고 중공형 관절의 장점을 활용할 수 있는 방안으로 다수의 모터를 이용한 관절 구성을 통해 높은 토크, 높은 정밀성, 낮은 백래쉬 구현 방법, 2차적인 안전장치 설계 및 적용 방법 등을 제시한다.

ABSTRACT

In this paper, In order to make up for the weak point of driving structure that existing used single motor in motor design, as a method to make use of advantage for joint of hollow type, we propose implementation methods for high torque, high precision, backlash less, and design of secondary safety device, and application method through joint organization using multiple motors.

키워드

Hollow motor, Manipulator, Safety joint system, Robot controller, Backlash less
중공 모터, 매니퓰레이터, 안전 조인트 시스템, 로봇제어기, 저백래쉬

1. 서론

최근 통신 및 제어시스템 연구/개발이 활발해 지고 그 발전이 두드러짐에 따라서 다축의 액추에이터를 동시에 제어하는 동기화 성능이 크게 향상 되었다.

이를 통해서 기존에는 두 개 이상의 모터를 직접 연결하는 시스템의 경우 각각 모터가 가지고 있는 제어 성능을 발휘하지 못하고 서로에게 간섭을 주는 역효과를 발생시켰지만 모터의 고성능화, 엔코더의 고분해능화, 동기화 제어 성능의 향상은 두 개의 모터를 직접 연결하는 구조를 통해서 하나 더하기 하나가 둘이상의

시너지 효과를 발생시킬 수 있는 기반이 마련되었다.

현재 모터를 활용하는 로봇, 기계설비, 자동화 시스템 등 다양한 분야에서는 제품의 성능을 향상시키기 위한 연구/개발이 활발히 진행 중이다[1-7].

또한 이러한 제품들의 성능을 좌우하는 가장 큰 요소 중의 하나인 모터는 소형 경량화와 함께 높은 출력을 구현하기 위해 금속유리와 같은 다원합금 등 특수 재료를 이용한 모터개발 등 다양한 방법을 통해 모터 그 자체의 성능 향상이 지속적으로 진행 중에 있다. 하지만 크기, 용량, 형태, 가격적인 측면에서 한계를 가지고 있기 때문에 더 작고 더 높은 성능을 요구하는 수요

* 순천대학교 정보통신공학부(moon@sunchon.ac.kr),

** 순천대학교 정보통신공학부(magunza@naver.com),

*** (주)메크로시스템엔지니어링(choicemylife@hanmail.net)

**** 교신저자, 전남대학교 전기·전자통신·컴퓨터 공학부(ycbae@jnu.ac.kr)

접수일자 : 2012. 02. 16

심사(수정)일자 : 2012. 03. 23

게재확정일자 : 2012. 04. 07

자의 욕구를 충족시키지 못하고 모터의 성능에 따라 어떤 제품의 성능이 결정되는 형태의 구조를 따르고 있다.

따라서 기계설비나 각종 자동화시스템, 로봇 등의 설계과정에 있어서 전체의 형상을 먼저 설계하고 세부 구조를 설계하는 방식을 적용하는 기존 방식과는 달리 현재는 모터의 성능과 구동부 모듈 형상을 설계한 후 이들로부터 전체 구조를 설계하는 방식으로 바뀌었다. 또한 중공모터를 이용한 관절의 구성은 축 중앙에 빈 공간을 만들어 케이블을 설치함으로써 작동능력의 증대와 관절의 소형 경량화를 가능하게 하는 등 여러 가지 장점이 부각되면서 그 활용성이 인정받고 있는 추세이며, 연구/개발이 활발히 진행 중이다. 하지만 개발 과정에서 사용되는 부품, 센서, 복잡한 구조에서 오는 가공어려움 등이 가져오는 고 가격대의 개발비용은 상용화 과정에서 큰 걸림돌로 작용하고 있다.

이에 본 논문에서는 모터 설계에서 기존의 단일모터를 사용한 구동구조의 단점을 보완하고 중공형 장점을 활용할 수 있는 방안으로 다수의 모터를 이용한 관절 구성을 통해 높은 토크, 높은 정밀도, 낮은 백래쉬 설계 및 중공형 구조 설계 등의 기술의 구현방법을 제안한다.

본 논문의 구조는 2장 중공형 모터의 구조 설계로서 기본 구조, 내부 구성, 제어기 특성, 백래쉬 감소 설계, 3장의 결론으로 구성한다.

II. 중공형 모터의 구조 설계

2.1 기본 구조

본 논문에서는 그림 1과 같은 방식으로 다수의 모터를 하나의 축으로 연결하는 구조로 연결시킴으로써 중앙의 공간을 활용한 중공형 관절을 구현할 수 있도록 하였다. 정밀 기계장치나 로봇관절 등을 개발할 때 모터는 사용되는 부품가운데 중량에 상당한 영향을 미치며, 이는 1개의 중실형 모터를 사용할 경우 미세하게나마 무게중심의 편심현상을 가져오는 단점 발생하게 된다. 하지만 다수의 모터를 사용할 경우 그림 1과 같이 배치구조의 변경을 통하여 무게중심을 비교적 자유롭

게 조정 할 수 있다. 로봇 관절을 구성함에 있어서 무게중심이 회전축의 중심에 위치 경우 하중 및 동적인 움직임에 의한 토크를 분석함에 있어서 정확성 및 신뢰성이 높아질 뿐만 아니라 고속의 회전이나 큰 동작시 발생하는 원심력에 의한 추가적인 로드 및 불필요 전력 소모를 줄일 수 있다.

- ※ 중공모터 : 중심 부분의 공간이 비어있는 구조의 모터
- ※ 중실모터 : 중심부분이 축으로 구성되어 축이 회전하는 모터

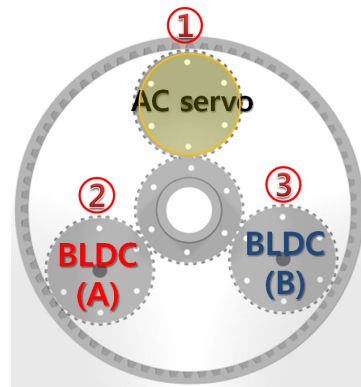


그림 1. 백래쉬를 갖는 기어 구조
Fig. 1 Gear structure with backlash

또한 그림 1과 같이 다수의 모터를 적용함에 있어서 각기 다른 특성의 모터를 적용 배치함으로써 사용 목적에 따른 제어특성을 가질 수 있도록 하였다. 즉 그림 1에서 ①번의 AC서보 모터는 정밀제어를 위한 모터로 정밀성이 요구되는 동작을 수행할 때 주도적인 구동력을 가지게 된다. 이와 같은 방법으로 ②, ③번의 BLDC 모터의 경우 정밀성보다는 강력한 토크를 필요로 할 경우 구동력을 주도적으로 수행하게 된다. 또한 스텝핑 모터나 기타 특수모터를 적용하여 운용환경 및 목적에 따른 제어특성을 가질 수 있게 된다.

- ※ 백래쉬 : 서로 맞물린 기어 사이의 간극(틈)

2.2 내부 구성

다수의 중실형 모터를 적용한 로봇관절을 구현하기 위해서는 그림 3과 같이 중실형모터, 브레이크, 엔코더,

감속기, 베어링 등의 부품이 적용 되었으며, 출력단에 토크센서를 배치함으로써 외력에 의한 토크를 측정 제어하는 기술을 기반으로 안정성을 확보 할수 있도록 하였다.

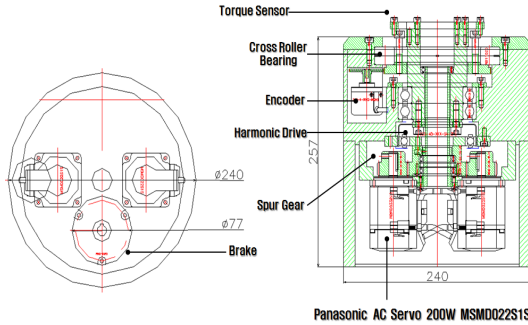


그림 2. 관절 2D 설계 도면
Fig. 2 2D design drawing of joint

또한 드라이버 모듈의 일체화를 통해서 각각의 로봇 관절이 자체적으로 하나의 모듈형 구조가 될 수 있도록 함으로써 추가적인 관절 구성의 자유도를 높였다. 이는 로봇관절을 활용한 응용분야나 로봇 매니플레이터 개발에 있어서 사용목적 및 운용환경에 따라 그에 적합한 성능의 로봇을 구성하는 등의 활용성이 높을 것으로 기대된다.[1]

2.3 안정장치 설계

현재까지의 로봇은 제한된 공간에서 수행되는 획일적인 작업을 수행하는 역할을 해왔지만 점차 로봇-인간의 동일한 공간에서의 협업공정이 요구되면서 로봇의 보다 다양한 동작성과 상황대처 능력을 필요로 하고 있다.

하지만 토크센서를 이용한 외력측정과 이를 제어하는 안전시스템만으로는 확실화된 작업이나 정해진 하중 내에서만 안전 시스템을 구현할 수 있다.

로봇이 작업상황고 위험상황을 스스로 판단하여 제어한다는 것은 사실상 어려운 일이지만 2차적인 안전장치를 추가적으로 적용함으로써 기존의 방식에 비해 조금더 활용성을 높일 수 있도록 하였다.

안전장치 조인트는 사용자가 설정해 놓은 임계충격량에 따라서 그 이상의 충격량을 감지하고 이를 흡수

할수 있도록 하는 기구적인 장치이다.

이는 곧 기구적인 안전장치와 제어측면에서의 안전장치가 2차적으로 적용될 수 있도록 하는 시스템으로 상호 보완을 통한 보다 효과적인 안전시스템으로써 역할을 할 것으로 보인다.

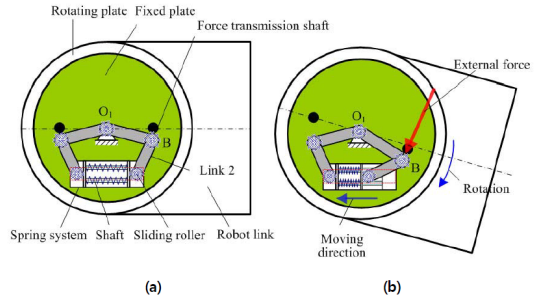


그림 3. 안전장치 조인트 동작원리
Fig. 3 Safe joint principles of operation

그림 4와 같이 두 개의 슬라이더-크랭크 기구와 스프링 장치를 구성하여 로봇관절과 관절을 연결하는 링크와 연결되도록 함으로써 외력이 전달될 수 있도록 하였다.

이는 엔드이펙터에 임계충격력을 초과하는 충격력이 가해지만 그림 3의 (b)와 같이 로봇관절 및 이와 연결된 힘 전달축이 같이 회전하고, 충격력은 슬라이더-크랭크 기구로 전달되어 흡수 된다. 또한 임계충격량 이하의 외력에 대해서는 높은 강성을 유지할 수 있도록 함으로써 위치를 정확히 유지할 수 있도록 되어 있다.[5]

2.4 백래쉬 감소 설계

기어는 동력을 전달하는 시스템에서 흔히 사용하는 기계 장치이다. 따라서 기어 시스템의 결함은 전체 시스템에 중요한 영향을 미치게 된다. 기어 시스템의 결함은 기어 이의 파손, 백래쉬, 기어 이사이의 간섭, 기어 정렬 편심도 등이 있으며 이러한 결함은 세심한 주의와 조기발견을 통해 심각한 문제를 예방할 수 있다. 그중 기어의 백래쉬는 대다수의 기어로 이루어진 동력전달 장치에서 항상 나타나는 현상으로 기어이의 표면에서 윤활작용을 하면서 기어 이의 간섭으로부터 기어 이를 보호하는 역할을 한다. 하지만 이 백래쉬의 양

이 작아지면 기어 이들은 서로 간섭을 일으키게 되고 반대로 백래쉬의 양이 커지면 기어 이의 결합이 느슨해져 부정확성을 유발하거나 소음, 진동을 발생시킨다.

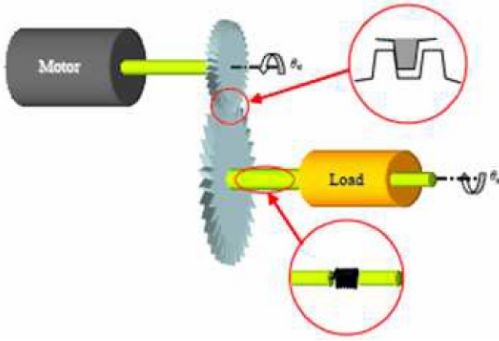


그림 4. 백래쉬를 갖는 기어 구조
Fig. 4 Gear structure with backlash

백래쉬를 감소시키는 방법으로 최근 개발제품 등으로 상용화된 백래쉬가 없는 타입의 기어제품을 이용하는 방법과 Preloading, Tolerance의 감소, 정밀한 조립 방법 개선 등의 기계적인 방법들이 있지만 이는 결국 제작비용의 증가로 연결되기 때문에 백래쉬로 인한 영향을 보상할 수 있는 제어기법과의 조화를 통한 효과적인 백래쉬 감소 대책이 필요하다.

하지만 기존의 제어이론들은 복잡한 행렬부동식에 의한 양한정 행렬의 존재여부가 관건이 되고 알고리즘의 복잡성 때문에 실제로 구현하는데 어려움이 존재할 뿐만 아니라 로봇에 적용하기 위해서는 로봇의 정확한 모델링에 따른 운동방정식을 풀어야 하는 단점이 있으며 이는 곧 알고리즘의 복잡성과 연관되어 많은 연산에 따른 실시간성을 만족해야하는 시스템에 실제로 적용하기 어려운 문제점을 갖는다.

이러한 문제점을 보완하기 위하여 저 백래쉬형 기어의 사용과 조립성 개선 등의 기계적인 방법과 함께 기어 사이에 존재하는 백래쉬를 외란으로 정의하여 검출/보상할 수 있도록 하는 방법을 제안한다.

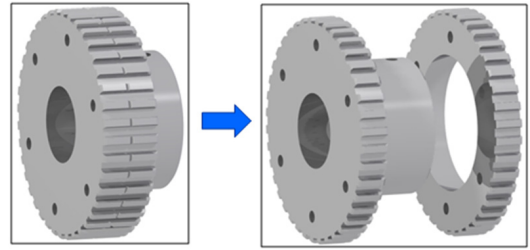


그림 5. 저 백래쉬형 기어 형상
Fig. 5 Gear shape with backlash less type

그림 5는 백래쉬 감소를 위한 기어구조를 나타낸 것으로 그림 5와 같이 두 개로 분리되어 있는 기어는 다른 기구장치와 조립된 이후에 추가적인 간극 조정을 통하여 구동 상태에서의 미세한 백래쉬를 줄여주는 역할을 한다.

또한 조립과정에서 정밀 조립을 위한 방법으로 별도의 지그를 제작/활용함으로써 백래쉬를 줄일 수 있도록 한다. 또한 정밀제어를 위한 기구부 구성가운데 중요한 부분을 차지하고 있는 것은 가공품의 소재와 가공의 정밀성이다.

동력전달이 직접적으로 연결되는 회전축부분이나 변형이 예상되는 취약부분은 응력분석 기반의 해석 과정을 기반으로 소재의 선정에 재검토해야 할 필요성이 있으며, 가공의 정밀성을 면밀히 체크해야 한다.

본 연구에서 사용되었던 로봇 관절의 경우에는 모터의 케이스 및 프레임 등은 강성이 약한 알루미늄 소재를 표면 처리하여 적용 하였으며, 사프트 및 기어, 토크 센서 등은 열처리 과정을 거침 기계구조용 탄소강과 크롬-몰리브덴강 등 특수강을 이용하여 적용시킴으로써 동력전달 구조상의 강성유지와 함께 정밀성을 유지할 수 있도록 하였다.[4]

2.5 제어기 특성

다수의 모터를 하나의 축으로 직접적으로 연결하여 구동하기 위해서는 모터의 성능, 기어 및 기구가공의 정밀성, 조립성, 제어기의 성능 등 복합적인 요인의 기술력이 필요하다.

특히 제어기의 통신 속도 및 동기화 성능이 뒷받침되지 못할 경우 다수의 모터를 연결하고도 1개 모터 이하의 성능을 가져올 수도 있으며, 동작이 안되거나 최

악의 경우에는 기구의 파손까지 가져올 수 있다. 이를 해결하기 위한 그림 6과 같은 광-EtherCAT 통신 인터페이스 모듈을 구현하였다.[2]

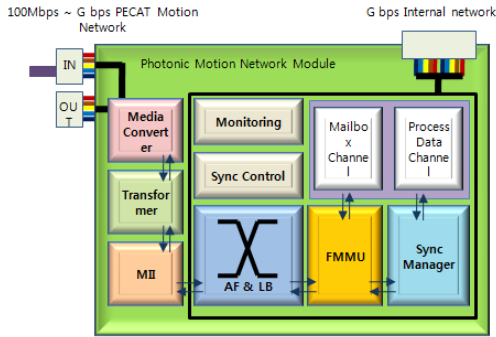


그림 6. 광-이더넷 통신 인터페이스 모듈
Fig. 6 Optical EtherCAT communication interface module

광통신의 높은 통신속도, 저손실율 등의 특성이 결합한 광-이더넷 기반의 통신 인터페이스 모듈은 대용량의 데이터 연산 및 처리를 요구하는 매니플레이터 제어 및 운용에 있어서 100Mbps 급의 고속 통신 속도와 함께 중장거리 통신의 손실을 최소화 함으로써 활용도가 높을 것으로 기대된다.

그림 7에 실시간 정밀 모션 제어용 서버 모터 구동을 위한 드라이버 모듈을 나타낸다. 그림 4의 구현을 통하여 성능 평가를 통해서 15us per 1node이하의 통신 업데이트 타임과 최대 15414Byte의 프레임 전송속도, 100 Mbps의 통신속도 등의 테스트를 통하여 모션제어 드라이버 모듈의 성능을 검증 할 수 있었다.[3]

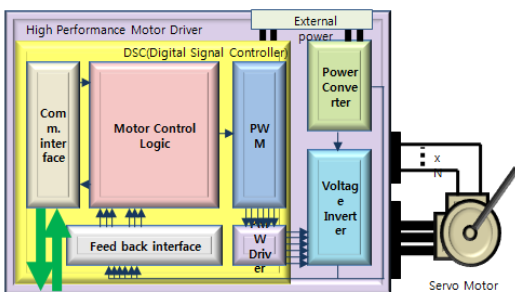


그림 7. 서보 벡터 드라이버 모듈
Fig. 7 Servo vector driver module

그림 8은 광-이더넷 기반의 서보드라이버의 모듈로 출력과워 100W, 출력전류 10A의 성능을 가지고 있으며, 중공형 구조로 제작함으로써 내부의 빈 공간을 활용한 케이블 배선 등의 활용이 가능한 구조로 제작하였다.[6-7]

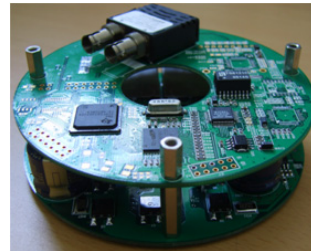


그림 8. 광-이더넷 기반 중공형 서보 드라이버 모듈
Fig. 8 Hollow type servo drive module based on optical-EtherCAT

III. 결론

본 논문에서는 로봇관절 개발에 있어서 다수의 중실형 모터를 적용한 중공형 타입 구현과 함께 적용 기어의 백래쉬를 감소하기 위한 기술, 모터 드라이버 모듈의 실시간 통신 및 제어기술, 모터의 배치 및 적용 방법 등을 종합적으로 개선 적용시켰다. 1개의 중실형 모터를 사용한 로봇 관절과 비교하여 공간 활용성, 무게 중심의 편심현상을 줄임으로써 향상된 기구적 안정성, 다수의 모터를 운용환경 및 사용목적에 따라 적용 배치시킴으로써 제어의 정밀성이나, 혹은 높은 토크력 위주의 수요자 맞춤형 제어 특성을 보유할 수 있다는 점에서 공장자동화 및 기계설비 분야 등의 산업용 로봇 분야와 개인 서비스 로봇 분야에 활용성이 높을 것으로 기대된다. 또한 통신 및 제어시스템의 발전과 함께 다수의 모터를 이용한 동기화 제어 및 다축제어 시스템의 신뢰성이 높아지고 있는 실정으로 기존의 두 개 이상의 모터를 한축에 같이 연결하여 제어함으로써 발생되었던 마이너스 효율이 점차 플러스 효율로 그 발전이 지속될 것으로 보인다.

또한 현재 많은 기관 및 단체에서 연구/개발 중인 중공형 모터는 공간효율성이나 관절을 구성하기 위한

기구 및 동역학적 측면에서의 장점이 큰 것으로 나타나고 있지만 핵심부품으로 여겨지는 영구자석기반의 로터와 스테이터를 비롯하여 전자 브레이크, 엔코더, 감속기 등이 모두 중공타입으로 적용되어야만 하는 구조적인 이유로 제작비용이 과다하게 들어가고 있는 추세이며, 이는 아직 상용화 단계에 접어들기에는 사용자 및 수요자 기반의 범용으로써의 기능과 성능을 갖추어야 할 부분으로 여겨지고 있다.

다수의 모터를 한축에 연결하여 모터의 특성별로 출력축 모션을 제어하는 시스템은 종합적인 구성요소 및 제어 시스템의 발전과 함께 나날이 그 성능 및 효율성이 증가하고 있는 분야로 지속적인 테스트와 성능검증을 통하여 보다 다양하고 신뢰성 높은 정밀제어 방법을 연구해 나갈 계획이다.

감사의 글

지역혁신인력양성사업

Human Resource Training Project for Regional Innovation

본 연구는 교육과학기술부와 한국연구재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임

This research was financially supported by the Ministry of Education, Science Technology (MEST) and National Research Foundation of Korea(NRF) through the Human Resource Training Project for Regional Innovation

참고 문헌

[1] 문용선, 배영철, 노상현, 조광훈, 박용구, "7자유도 매니플레이터 협업 로봇 설계", 한국전자통신학회논문지, 5권, 1호, pp. 37-43, 2010.

[2] 한종길, 배성환, 양근호, "슬라이딩 섹터 제어를 이용한 유연한 로봇 팔에 대한 제어기 설계", 한국전자통신학회논문지, 5권, 5호, pp. 541-546, 2010.

[3] 한종길, 손영수, "2 관절 유연한 로봇 팔에 대한 비선형 제어", 한국전자통신학회논문지, 4권, 3호, pp. 236-242, 2009.

[4] 임홍재, 박태원, 원중호, 최역렬, 안인환, 안찬우, "로봇기구학.", 교보문고, pp. 80-270, 1997.

[5] 정진호, "산업용 로봇 기구설계 기초" 차세대

지능형 로봇 인력 양성 교육, pp. 124-189, 2007.

[6] L. Feng, Y. Koren, J. Borenstien, "Cross-Coupling Motion Controller for Mobile Robots", IEEE Control System Magazine, pp. 160-232, 1993.

[7] Park, J.-J., Lee, Y.-J., and Song, J.-B., "Safe Joint Mechanism based on Nonlinear Stiffness for Safe Human- Robot Collision," Proc. of the IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp. 2177-2182, 2008.

저자 소개



문용선(Yong-Seon Moon)

1983년 2월 조선대학교 전자공학과 (공학사)

1989년 2월 조선대학교 대학원 전자공학과(공학박사)

1992년~현재 순천대학교 정보통신공학부교수

※ 관심분야 : 산업통신망 및 로봇, 실시간 모션 제어



노상현(Sang-Hyun Roh)

2007년 2월 순천대학교 전자공학과 (공학사)

2009년 2월 순천대학교 전자공학과 (공학석사)

2009년~현재 순천대학교 전자공학과(공학박사 재학 중)

※ 관심분야 : 로봇 제어, 모터 제어, 산업통신망



조광훈(Kwang-Hoon Cho)

2003년 2월 순천대학교 전자공학과 졸업 (공학사)

2003년 2월~현재 (주)메크로 시스템 엔지니어링 입사

※ 관심분야 : 자동화 시스템, 산업통신망



배영철(Young-Chul Bae)

1984년 광운대학교 전기공학과 (공학사)

1986년 광운대학교대학원 전기공학과 (공학석사)

1997년 광운대학교대학원 전기공학과(공학박사)

1986년~1991년 한국전력공사

1991년~1997년 산업기술정보원 책임연구원

1997년~2006년 여수대학교 전자통신전기공학부 부교수

2002년~2002년 Brigham Young University 방문교수

2006년~현재 전남대학교 전기·전자통신·컴퓨터공학부 교수

2011년~2011년 University of Utah 방문교수

※ 관심분야 : Chaos Control and Chaos Robot, Robot control etc.