# 말단 장치의 평면 유지가 가능한 로봇 회전 암의 설계 Design of Robot Rotation Arm with Parallel Motion in End Effector

# 이 종 신<sup>1</sup>

# Jong-Shin Lee<sup>1</sup>

Abstract This study proposes the design method for the robot rotation arm which the end effector that is connected in end of the arm keeps parallel motion even though the robot arm rotates. So far, most robot arm rotates together the end effector when the arm rotates. For this, this study proposes the mechanism that the arm is linked to each 4 parallel link so that rotation is possible by 4 pins, and the rotation arm connects 2 joints of diagonal line direction to a link in each 4 joint for rotation, and designs so that can change length of the link. For verification of design, this study targeted that develop the rotation arm for medical examination that use in ophthalmology. It is important that a medical robot offers comport to patient and design compactly so that medical examination and treatment space may can be defined enough. It is designed so that all drive elements may be positioned on interior of the arm and optimization of design for main parts was carried out in this study for this. The robot arm which is developed in this study manufactured to use by medical phoropter arm, and got good result by an experiment. The robot rotation arm which is proposed in this study is judged to contribute very effectively in case use of a medical robot arm for medical examination and treatment, also the robot arm which the end effector that is connected in the end of the arm needs to keep parallel motion. And, the robot arm which is developed in this study made an application as license.

Keywords: Robot Rotation Arm, Parallel Motion, End Effector, Parallel Link

## 1. 서 론

로봇 관절은 직선 운동과 회전 운동을 하는 형태를 갖는 다. 이들 관절운동 형태의 조합에 따라 로봇을 분류할 수 있다. 서로 다른 3개의 축으로 구성되어 있으며 직선운동을 하는 구조, 즉 3개의 직선운동을 갖는 직교형 로봇 (Rectangular or Cartesian type), 1개의 수직 칼럼(Column) 과 슬라이드를 갖는 구조 즉, 2개의 직선운동과 1개의 회전 운동을 갖는 원통형 로봇(Cylindrical or Post type)이 있다. 또한, 2개의 회전축과 슬라이드를 갖는 구조, 즉 1개의 직 선운동과 2개의 회전축과 슬라이드를 갖는 구정, 즉 1개의 직 선운동과 2개의 회전축과 슬라이드를 갖는 구정, 즉 3개의 회전 있다. 그리고, 2개의 수직 회전축과 1개의 수직 슬라이드를 갖는 구조, 즉 1개의 직선운동과 2개의 회전운동을 갖는 SCARA(Selective Compliance Assembly Robot Arm) 로봇 등이 있다<sup>[1,2,3]</sup>.

이때 회전 관절을 갖고 있는 로봇의 경우, 회전관절의 구 동에 대해 여러 가지 방법이 적용되고 있다. 기어, 타이밍 벨트, 스크류 너트 등을 조합하여 구동하는 간접구동 방식 과 직접구동모터(Direct Drive Motor)를 암에 직결하여 구 동하는 직접구동방식이 있다. 그러나 기존 회전 암의 회전 형태를 살펴 보면 관절의 회전과 함께 다음 관절에 부착된 암이나 말단 장치가 함께 회전하는 구조가 주종을 이루고 있다. 그러나, 작업 특성에 따라 말단 장치가 수평을 유지하 며 암이 회전하는 경우를 필요로 할 때가 있다. 예를 들어 안과용 진료장치의 회전암은 말단 장치에 검안용 포롭터를 장착하여 검안을 하게 되는데, 이때 환자의 검안 위치로 말

Received : Aug. 05. 2010; Reviewed : Sep. 23. 2010; Accepted : Oct. 14. 2010 <sup>1</sup> 주성대학 컴퓨터응용기계과 교수

단 장치에 장착된 진단용 포롭터가 수평을 유지한 상태에 서 이동해 정지해야만 한다. 이를 위해 기존 암의 경우 기 어와 가스 스프링을 조합하여 회전시키는 방법과 체인 및 타이밍 벨트를 이용하여 중력방향의 축을 중심으로 회전시 키는 방법이 이용되고 있으나 부품수의 증가 및 암의 회전 에 따른 진료 공간의 증대 등 일부 문제점이 있는 것으로 나타나고 있다<sup>[4,5]</sup>.

본 연구에서는 암이 회전할 때 말단 장치가 평면 상태를 유지해야 하고, 더불어 기존 암의 문제점을 개선하기 위한 일환으로 안과에서 사용할 수 검안용 회전 암을 개발 모델 로 선정하여 이를 설계하고 제작한 후 테스트를 실시하는 것으로 하였다. 이를 위해 회전하는 암의 일 단에 장착된 말단 장치가 수평을 유지하며 회전하는 구조의 새로운 로 봇 암 설계 방법을 제안하고자 한다. 회전 구조로 4개의 핀 에 의해 회전이 가능하도록 안내하는 방식의 4각 링크 구조 로 메커니즘을 구성하였으며, 말단 장치가 평면을 유지하며 회전하기 위한 방법으로 4각 링크의 대각선 방향 두 개의 조인트, 즉 그림 1에서와 같이 조인트 1(Joint 1)과 조인트 3(Joint 3) 사이를 링크로 연결하여 링크의 길이가 변할 수 있는 구동 방법을 적용하였다. 의료용 장비의 경우 산업용 과 달리 가능한 한 컴팩트한 구조로 진료공간을 확보하고 환자에게 편안함을 줄 수 있도록 설계하는 것이 중요하다. 이를 위해 암의 내측에 모든 구동요소가 위치하도록 하는 것을 우선으로 하여 고안하였다. 또한, 로봇 암의 설계에서 중요한 것은 말단 장치 끝 단의 처짐량이 허용되는 범위 내 에서 가능한 한 경량화시키는 것이 바람직하다. 이는 사용 모터의 용량을 감소시키거나 사이클 타임을 단축할 수 있 기 때문이다<sup>[6,7]</sup>. 그러나 로봇 암을 경량화시키면 로봇 말단 장치 끝 단의 처짐량은 증가하게 되고, 그 만큼 상대 정밀 도의 오차는 커지게 된다. 본 연구에서는 말단 장치 끝 단 의 처짐량을 한계치로 설정하여 가능한 중량을 감소시키기 위한 경량화 설계를 추진하였다. 또한 반복 하중을 받는 기 어의 피로해석을 통해 수명에 대한 신뢰성을 확인하였다. 구동방법으로 구동원인 모터의 회전축에 주동 베벨기어를 장착하고, 종동 베벨기어를 통해 스크류 축이 정·역전하도 록 함으로써, 스크류축과 조합된 너트가 직선 운동하는 방 법을 이용, 링크의 길이가 변화하여 대각선 방향의 조인트 간 거리를 변화시킬 수 있도록 하였다. 그리고, 설계된 암은 의료용 포롭터 암에 적용하고자 제작을 통해 작동상태를 실험하였다..

#### 2. 회전 암의 구상 및 설계

먼저, 말단 장치가 수평을 유지하며 암이 회전하기 위한 작동 개념과 회전 운동을 구현하기 위한 구동 형태 및 관절 의 구조에 대한 설계 방법을 제안하고자 한다.

#### 2.1 작동개념

그림 1은 암의 작동 개념도를 나타낸다. 암이 시계 방향 또는 반시계 방향으로 회전할 수 있도록 하고, 회전하는 경 우 말단 장치(End effector)가 평형상태를 유지하도록 하는 구조의 로봇 회전 암을 설계한다. 이를 위해 그림 1에서 회 전 암에 4개의 조인트를 형성하여 4각 링크를 구성하고 각 조인트에 핀으로 연결하여 회전이 가능하도록 한다. 여기 서, 조인트 1과 조인트 3에 대해 대각선 방향의 길이가 변



할 수 있도록, 즉 1의 길이가 증가하거나 감소함에 따라 암 의 회전이 가능하도록 한다. 이 때, 1의 길이가 증가하면 반 시계 방향으로 암이 회전하고, 1의 길이가 감소하면 암이 시 계 방향으로 회전하게 된다. 이와 같은 구조로 암을 회전시 키면 암이 회전하더라도 말단 장치는 평형을 유지하게 된다. 또한, 중심 1(Center 1)과 중심 2(Center 2)는 암이 회전하더 라도 간섭이 없는 위치로 커버의 조립에 이용되도록 한다.

#### 2.2 구동부의 구조

그림 2는 구동부의 구조를 나타낸다. 모터가 장착되어



구통하는 부위는 최대한 공간을 적게 차지하도록 컴팩트한 구조로 설계하는 것이 매우 중요하다. 그림 2와 같이 DC 모터의 회전축에 주동기어(Main gear)를 장착하고, 주동기 어의 중심축과 수직방향으로 정렬된 스크류 축이 회전될 수 있도록 다른 종동 기어(Slave gear)를 조합하는 것으로 한다. 모터가 플레이트 1(a)에 장착되고, 종동기어와 스크류 (Screw)가 동일 축 선상에 안내되어 회전이 이루어지도록 하기 위해 모터가 장착되는 플레이트 1(a)에 다른 2개의 플 레이트 1(b)와 플레이트 2(a)가 일체로 체결되도록 한다. 셋 스크류(Set screw)에 의해 종동기어가 구동축(Driving shaft) 에 체결되고, 구동축은 하단부 플레이트 1(b)에 장착된 베 어링 2(b)와 상단부 플레이트 2(a)에 장착된 베어링 2(a)에 의해 지지되고 안내되어 회전이 이루어진다. 스크류는 플레 이트 2(b)에 장착된 2개의 베어링 1(a)와 베어링 1(b)에 의 해 지지되고 안내되어 회전하고, 이 때, 베어링이 장착된 플 레이트 2(b)는 하부 플레이트 2(a)에 일체로 체결된다. 구동 축과 스크류 축은 커플러(Coupler)로 연결되도록 한다. 상 용의 커플러를 이용하는 경우 커플러의 크기 문제로 필요 이상의 공간을 차지하기 때문에 본 연구에서는 그림 2(a)와 같이 단순한 구조의 커플러를 고안하여 적용하였다. 구동 방법을 요약하면, 모터의 회전축이 회전하여 주동기어를 회 전함으로써 종동기어가 회전하게 된다. 또한, 종동기어가 체결된 구동축이 회전하게 되고, 커플러로 연결된 스크류가 회전하게 된다.

#### 2.3 상부 회전 관절부의 구조

그림 3은 상부 회전 관절부의 구조를 나타낸다. 링크 1에 플레이트(Plate)를 이용해 스크류와 조합되는 너트가 장착 될 수 있도록 하였다. 모터 구동부에서 모터에 의해 스크류 가 회전하면 스크류의 정·역전에 의해 너트와 일체로 결합 된 링크 1이 그림 3에 표시된 화살표 방향으로 동작하게 된 다. 또한, 핀 1과 핀 2가 상부 프레임(Upper frame)에 체결 되고, 링크 1의 상단부 내측에 홀을 형성하여 오일리스 메 탈 2(DU Bush 2)를 삽입하여 핀 1에 미끄럼 회전이 가능하 도록 연결된다. 그리고 사이드 프레임 1과 동일한 형상의 사이드 프레임 2에 오일리스 메탈 1(DU Bush 1)이 삽입되 고 핀 1에 연결되어 미끄럼 회전이 가능하도록 조합하였다. 또한, 링크 1이 핀 1의 축 방향으로 흔들림이 발생하지 않 도록 부시를 삽입하였다. 그리고, 상부 프레임과 사이드 프 레임 1과 사이드 프레임 2 사이에 미끄럼 마찰이 일어나도



그림 3. 상부 회전 관절부의 구조

록 수지로 제작한 와셔(Washer)를 삽입하였다.

#### 2.4 하부 회전 관절부의 구조

그림 4는 하부 회전 관절부의 구조를 나타낸다. 하부 프 레임(Lower frame)의 핀 3과 핀 4에 의해 사이드 프레임



(Side frame 1, Side frame 2)의 회전 운동이 가능하도록 내 측 구멍에 오일리스 메탈이 삽입되어 연결되고, 상부 회전 관절부의 방법과 동일하게 링크 2의 하단부 구멍에 오일리 스 메탈이 삽입되어 핀 3에 연결되어 회전운동이 가능하도 록 되어 있다. 2 개의 핀 3과 핀 4는 고정을 위해 셋 스크류 로 각각 하부 프레임에 체결된다.

#### 2.5 전체 회전 암의 구성

그림 5는 전체 회전 암의 구조를 나타낸다. 상부 회전 관 절부의 너트가 구동부의 스크류와 조립되고, 구동부의 플레 이트 1(b)와 하부 회전 관절부의 링크 2와 연결된다. 커버가 센터 1과 센터 2에 조립되고, 부시의 미끄럼 마찰로 안내되 어 하부 프레임과 상부 프레임의 회전에 따라 외형을 유지 하며 구동 되도록 하였다. 핀 1에 의해 연결된 조인트 1과 핀 3에 의해 연결된 조인트 3 사이의 링크 길이가 모터의 구동에 의해 변화된다. 이 때, 두 조인트 사이의 길이가 증 가하면 반시계 방향으로 암이 회전하고, 길이가 감소하면 시계방향으로 암이 회전하게 된다. 조립 시 조인트 1 또는 조인트 3을 먼저 조합한 후에 모터를 구동하여 그림 3의 링 크 1을 화살표 방향으로 적절하게 이동시켜 가며 나머지 조 인트를 조합한다.

본 연구에서 제시한 말단 장치는 의료용 포롭터 암으로 형상을 설계하였으나, 필요에 따라 말단 장치의 형상을 변



경하면 된다. 또한, 의료용 포롭터 암으로 사용하기 위한 규 격으로 암의 치수, 가반하중을 설정하여 개발하였으나 다른 용도의 로봇 암 설계에도 응용이 가능하다. 예를 들어, 가반 하중 및 작업 범위에 따라 사이드 프레임의 길이와 두께, 모터의 용량을 변경하여 요구되는 사양에 맞도록 설계하면 된다.

### 3. 경량화 및 신뢰성 설계를 위한 해석

그림 6은 기어의 해석결과로, 그림 6(a)는 변형량, 그림 6(b)는 응력, 그림 6(c)는 전단응력에 대한 안전계수를, 그 림 6(d)는 응력에 대한 안전계수를 나타낸다. 그림 6(c)에서 안전계수는 최대 전단응력에 의한 안전계수로 최소 4.9804 이고, 그림 6(d)에서 안전계수는 최대 인장응력에 의한 안 전계수로 최소 4.5879임을 나타내며 이는 변형량과 응력이 안전한 범위 내에 있음이 확인된다. 그림 6(g), 6(h)는 피로 해석결과를 나타낸다. 하중 및 변위가 반복적으로 일어나는 경우 장기적으로 부품에 균열이 발생하고 최종적으로 피로 파괴를 일으키게 된다. 여기서 컴팩트한 설계를 위해 매우 중요한 요소인 기어의 규격과 모듈을 결정하기 위해, 반복 적으로 하중 및 변위가 발생하는 주동기어에 대해 피로해 석을 실시하였다. 본 연구에서 종동 기어는 주동 기어와 크 기가 같고 외력 조건이 동일하므로 주동 기어를 해석하는 것으로 하였다. 피로해석에서 평균 응력식에 대한 개념으로 연강해석에 적합하며 항복응력을 기준으로 수명을 계산하 는 Goodman 의 이론을 적용하였다. 피로해석 결과 안전계 수는 최소 3.1979, 최소수명은 1×10°회로 나타났다. 의료용 로봇 암으로 이용할 경우 1일 200명의 환자를 진료하는 것 으로 가정하면 년간 10만회의 작동이 예상되고, 10년 이상 의 수명이 예측됨을 확인할 수 있다. 이를 토대로 본 연구 에서는 모듈이 1.0인 베벨기어를 사용하는 것으로 결정하 였다.

그림 8은 프레임의 구조 해석결과를 나타낸다. 말단 장 치에 10Kg의 가반하중(<sup>W</sup>L)이 작용하고, 암의 자체 중량을 고려하였으며, 최대 모멘트가 발생하는 위치로 암이 30° 회 전하였을 때의 변형량과 응력을 구하였다. 최대 변형량은 0.13374mm, 최대 응력은 12.03MPa로 나타났다. 최대응력 이 발생되는 부위의 재질이 강으로 250MPa이내의 범위에 들어오는 것을 확인할 수 있다. 로봇 암의 경우 응력에 대 해서는 안전영역에 있으나 반복정밀도 측면에서 변형량이



중요한 인자로 다루어져야 하므로, 본 연구에서는 변형량을 설계 인자로 하여 해석을 수행하였다. 이를 위해 최대 변형 량을 0.15mm이내로 설정하고 그림 7(a)와 같이 프레임의 두께 및 형상을 변화시켜가며 경량화 설계를 추진하였다. 여기서 프레임의 폭은 임의로 조정이 가능하며, 프레임의 두께는 상용으로 제조되는 판재의 두께를 적용하였다. 그림



(b) 무게 중심 산출

그림 7. 최적화를 위한 설계 변수 및 무게중심 산출

7(b)와 표 1은 3차원 캐드를 이용하여 산출한 최적화 후의 암 무게 및 무게중심을 나타내며, *t* = 3.2*mm*, *w* = 69*mm*, *h* = 34*mm* 가 적절한 것으로 나타났다. 설계에 이용된 프레 임의 핀 중심간 거리는 595*mm*이다. 여기서 경량화를 위해 사용된 최대 변형량은 본 연구 대상인 의료용 포롭터 암을 고려하여 적용한 것이므로 요구되는 조건에 따라 조정이 필요하다. 예를 들어, 상대정밀도가 높게 요구되는 경우 말 단 장치 끝 단의 처짐량이 작아지도록 최대 변형량의 한계

 구 분
 산출 값

 암의 무게
 19.726 Kg

 모계 중심
  $x_c$  12.68 mm

 모계 중심
  $y_c$  389.04 mm

  $z_c$  -13.767 mm

표 1. 암의 무게 및 무게 중심

값을 조정하여 설계에 반영해야 한다. 표 2는 해석에 사용 된 강의 물성치를 나타낸다.

#### 표 2. 해석에 사용된 강의 물성치

Structural	
Young's Modulus	2.0e+5 MPa
Poisson's Ratio	0.30
Density	7.85e-6 Kg/mm <sup>3</sup>
Thermal Expansion	1.2e-5 1/°C
Tensile Yield Strength	250 MPa
Compressive Yield Strength	250 MPa
Tensile Ultimate Strength	460 MPa



(b)Equivalent stress(MPa) 그림 8. 프레임의 해석 결과

## 4. 제작 및 실험

그림 9는 테스트를 위해 제작된 암의 사진을 보여준다. 암을 설계한 후, 암을 제작하여 구동 상태를 테스트 하였다. 말단 장치에 10Kg의 중량을 거치하고 시계 방향 및 반시계 방향으로 회전시켜 가며 작동 상태를 육안으로 검사하였으 며, 테스트 결과 말단 장치가 평형을 유지하며 부드러운 회 전 운동을 하였다. 표 3은 테스트 결과를 나타낸다. 본 연구 에서 개발된 로봇 회전 암은 진료용 포롭터 암으로 이용하 기 위해 제작하였으며, 지적재산권 보호를 위해 특허로 출 원하여 등록하였다<sup>[8,9]</sup>.



그림 9. 개발된 로봇 암

표 3. 암의 실험 결과

구 분	성 능
회전범위	-30°~ +30°
회전시간 (시계방향, 반시계방향)	5.3초

## 5. 결 론

본 연구는 말단 장치가 평면을 유지하며 암이 회전해야 하는 경우에 대한 로봇 암의 최적화 설계 및 개발에 관한 것이다. 말단 장치가 평면을 유지할 필요가 있는 경우로 진 료용 로봇의 경우를 고려할 수 있으며, 본 연구에서는 안과 에서 검안용 포롭터를 장착하여 사용할 수 있는 회전 암을 대상으로 하였다. 회전 암의 경량화 및 신뢰성 설계를 위해 해석을 수행하였으며, 또한 실제 의료용 포롭터 암에 적용 하기 위해 제작한 후 테스트를 실시하였다. 본 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 4절점을 갖는 평행 링크 구조의 메커니즘을 채택 하고, 대각선 절점 간 링크의 길이 변화를 위해 구동 방법 을 새롭게 고안하여 조인트 간 거리를 조절함으로써, 말단 장치가 평면을 유지하며 로봇 암이 회전할 수 있는 구조의 설계가 가능함을 확인하였다. 둘째, 중요 부품에 대한 해석 결과를 반영하여 요구되는 안전계수 및 변형량의 범위 내 에서 암을 최대한 경량화시킴으로써 컴팩트한 설계가 가능 하였으며, 상세 설계 후 암을 제작하여 테스트를 실시한 결 과 요구되는 성능이 달성됨을 확인할 수 있었다. 셋째, 본 연구에서 개발된 암은 진료용 포롭터 암으로 채택하여 활 용할 계획으로 특정 암을 대상으로 하였으나, 개발된 암을 다른 용도의 로봇 회전 관절에도 확장하여 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌 =

- Richard D. Klafter, "Robot Engineering, An Integrated Approach," Prentice-Hall, Inc., pp.1-82, 1989.
- [2] 牧野 洋, "로봇 기구학," 일본 일간공업신문사, pp185-186, 1988.
- [3] James Rehg, "Introduction to Robotics, A Systems Approach," Prentice-Hall, Inc., pp.25-38, 1985.
- [4] http://www.huvitz.com/products/products011.php
- [5] http://www.yujinmedical.co.kr/3/yujin/OS-2010.html
- [6] 이종신, "스카라 로봇의 성능 평가에 의한 제 2암의 최적 설계," 한국기계기술학회 논문지, 제11권, 제 2 호, pp.1-8, 2009. 6.
- [7] 이종신, "스카라 로봇 암의 최적화 설계 및 시뮬레 이션," 제어.자동화.시스템공학 논문지, 제 15권, 제 6호, pp.612-618, 2009. 6.
- [8] http://www.topcon.co.kr/GA/Product/OS-1000SK/OS-1000SK.html.
- [9] 이종신, "의료용 포롭터 암," 특허청, 특허등록번호 10-0982220, 2010.

이 종 신 1981 부산대학교 기계공학과 (공학사) 1985 연세대학교 기계공학과 (공학석사) 2000 고려대학교 기계공학과



(공학박사)

1986~1995 삼성종합기술원,삼성중공업중앙연구소 1995~현재 주성대학 컴퓨터응용기계과 교수 관심분야 : 로봇, 자동화 장비 설계 및 제어