

7자유도 매니플레이터 협업로봇 설계

문용선* · 배영철** · 노상현*** · 조광훈**** · 박용구*****

Design of 7 D.O.F Manipulator Cooperation Robot

Yong-seon Moon*, Youngchul Bae**, Sang-hyun Roh***, Kwang-hoon Cho****, Yong-gu Park*****

요약

본 논문에서는 7자유도 매니플레이터를 개발에 있어서 각 관절에 2개 이상의 일반적인 모터를 적용하여 중공형 관절을 구현하고, 전장부가 내장된 소형 구조를 설계하였다. 또한 기존의 산업용 로봇의 한계로 지적받고 있는 작업 반경의 한계 및 위험성을 극복할 수 있는 방안을 제시하고 보다 효율적이며, 안전한 매니플레이터의 구현 방법을 제시한다.

ABSTRACT

In this paper, we implement that hollow type joint using two more than general motor and design for compact structure embedded electronic parts in the development of 7 degree of freedom manipulator. We propose a method to overcome risk and the limit of operating radius which are point out as a limit of previous industrial robot. and also propose to more efficient and stable manipulator implement method.

키워드

Hollow Type Joint, Torque Sensor, modular, 7D.O.F Manipulator

I. 서론

현재의 로봇산업에서는 서비스 로봇의 실용성을 높이기 위해서 로봇 매니플레이션 분야의 발전이 매우 중요하게 여겨지고 있다. 로봇 매니플레이터 개발을 위한 노력은 계속 되고 있지만 각 관절의 모듈성을 증가 시키기 위한 중공모터와 Hollow Harmonic Drive의 적용 등 적용시키기 어렵고 값 비싼 부품들의 사용이 불가피한 상황에서 현실적으로 연구를 진행하기에 어려운 부분들이 많았다. 또한 대부분의 핵심부품들이 국외에서 개발된 제품으로 수입에 의존해야 된다는 점에서 여러 가지로 연구 및 개발을 더디게 하는 요인으로 작용 하

였으며, 로봇산업의 전반적인 분위기가 산업용 로봇분야에서 서비스용 로봇분야 중심으로 점차 옮겨지면서 기존 산업용 로봇이 작업을 하기 위해 일정 공간을 확보해주던 형태를 탈피하여 사람과 함께 서로의 작업영역을 공유하며 보다 효율적인 형태의 작업이 이루어 질 수 있도록 하는 것이 중요시 여겨지고 있다.

본 기술개발에서는 이와 같은 문제점을 해결할 수 있는 기술로 매니플레이터의 각 관절을 두 개의 모터와 기어를 사용한 구조로 설계하여 중공모터를 사용하지 않고 중공 타입의 모듈형 로봇관절을 구현하였으며, 각 관절을 드라이버 일체형 구조로 설계함으로써 보다 효율적인 운용이 가능하도록 하여 각 관절의 출력축에 토

* 순천대학교 정보통신공학과(moon@urc.kr) ** 교신저자, 전남대학교 전기전자통신컴퓨터공학부(ycbae@chonnam.ac.kr)

*** 순천대학교 전자공학과(rsh@urc.kr)

****(주)메크로시스템 엔지니어링(choicemylife@hanmail.net)

*****레드원테크놀러지(주)(pyg@urc.kr)

접수일자 : 2010. 1. 30

심사완료일자 : 2010. 2. 18

크센서를 설계 적용하여 각 관절에 전해지는 힘의 크기에 따른 토크를 측정 제어함으로써 외부의 반응에 보다 안정적으로 대응함으로써 인간과 함께 작업공간을 공유할 수 있는 협업로봇의 구현을 가능하도록 하였다.

II. 7D.O.F 매니플레이터 적용 시스템

2.1 중공형 관절의 구성

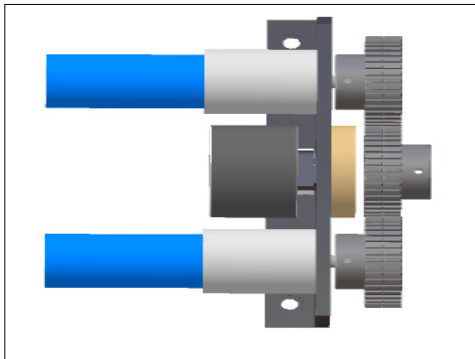


그림 1. 두 개의 모터를 이용한 중공형 관절
Fig. 1 Hollow Type Articulation Use Two Motors

7자유도 매니플레이션 협업로봇에는 그림 1과 같이 두 개의 모터와 평기어, 그리고 중공식 샤프트를 이용하여 중공모터를 사용하지 않고 중공형 관절을 구현할 수 있는 구조로 설계 되었으며, 이러한 방법은 사용된 모터의 사양을 달리 함으로써 다양한 형태의 제어 및 알고리즘 연구에 적용 시킬 수 있도록 하였다.[1]

그림 2는 7자유매니플레이터 협업로봇의 각 관절의 구성도로서 드라이버 일체형의 컴팩트한 구조를 지향하고 있으며, 2개 이상의 모터 적용에 따른 중공형 관절 구조 구현방법을 설명하고 있다.

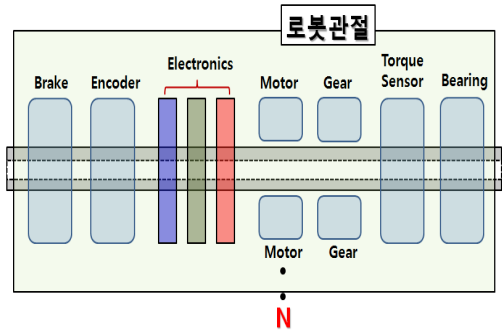


그림 2. 로봇 관절 기본 구성도
Fig. 2 Configuration of Robot Articulation

2.2 토크센서

출력단에는 그림 3과 같은 토크센서를 배치하여 외부압력에 의해 가해지는 각기 다른 힘을 센싱하여 능동적으로 대응할 수 있도록 하기 위한 것으로써 각 센서마다 풀브릿지 형태로 스트레인지지를 부착시킴으로써 보다 정밀한 토크센싱이 이루어 질수 있도록 하였다.

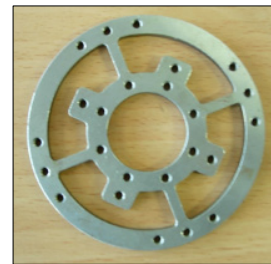


그림 3. 탄성변형 구조물
Fig. 3 Torque Sensor

토크센서는 구조물의 강성이 낮을수록 토크측정에는 유리하지만, 일정한 강성 이상을 유지해야 로봇 관절의 위치제어 성능을 저하시키지 않는다. 그러므로 감속기의 제원, 스트레인지지 팩터 및 예상 토크를 감안하여 그림 4와 같이 CATIA V5를 이용하여 응력분포 및 변형량을 해석 하였다. 소재는 기계구조용 탄소강을 사용하였으며, 각 관절 적용에 따른 부분별로 안전율이 적용된 토크를 계산하여 크기 및 두께를 달리 적용 시킴으로써 보다 효과적인 토크센싱 제어가 이루어질수 있도록 하였다.[2]

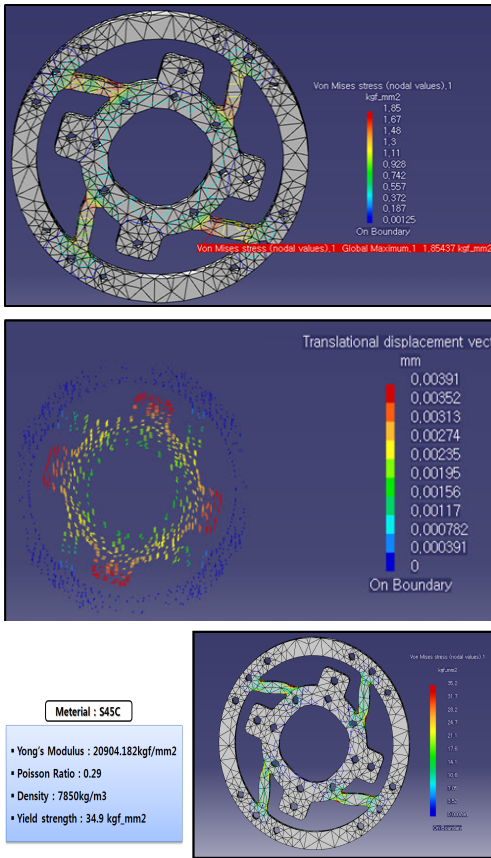


그림 4. 탄성구조물의 응력/변형량
Fig. 4 Stress and the transformation amount of elasticity construction

2.3 토크센싱 시스템 회로도 구성

토크 센싱을 위한 시스템의 회로 구성을 그림 5에 나타내었으며 회로의 동작 과정은 다음과 같이 정리된다.

- 1) 제어기 : 토크 시뮬레이터를 통하여 측정된 토크 정보를 기반으로 토크 연산 및 제어를 지령하는 제어 장치
 - ① 최초 제어기는 사용자에게 의해 지령된 초기 토크 값을 토크 시뮬레이터로 지령한다.
 - ② 토크 지령 후 토크 시뮬레이터에 부착된 토크 센서로부터 측정된 토크 정보를 수신한다.
 - ③ 측정된 토크정보를 이용한 글로벌 토크제어를 수행한다. (필요시 로컬 토크 제어도 병행)

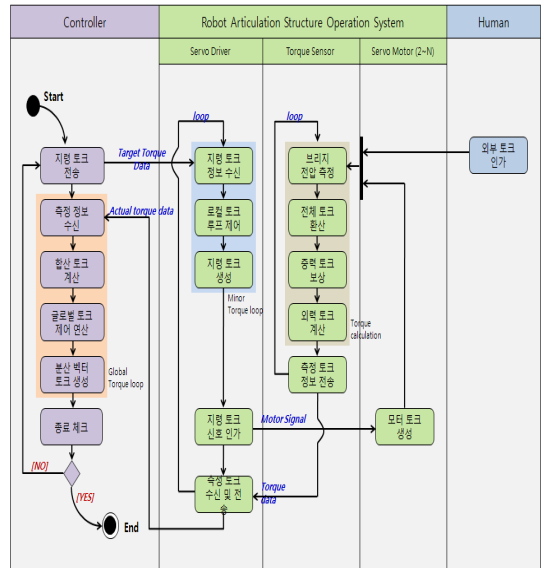


그림 5. 토크 센싱 시스템 회로 구성
Fig. 5 Torque Sensing System Circuit Composition

- ④ 토크제어 수행을 통하여 계산된 결과 토크를 토크 시뮬레이터에 부착된 다 축 모터 힘 벡터 성분으로 변환한다.
- ⑤ 최종적으로 변환된 각 모터의 토크 정보를 토크 시뮬레이터의 서보 드라이버로 전송한다.
- ⑥ 기존과정 반복.[3]

2) 로봇 관절 구조 운영 시스템: 시뮬레이터에 부착된 모터의 토크 및 외부에서 인가되는 토크를 측정하고, 제어기로부터 지령된 토크정보를 기반으로 토크 제어를 수행하는 장치

- (1) 모터드라이버
 - ① 제어기로부터 전송된 지령 토크 정보를 수신한다.
 - ② 지령된 토크 값을 추종하는 로컬 토크 루프를 실행한다.
 - ③ 계산된 모터 지령 토크를 모터에 인가하여 토크제어를 수행한다.(이 과정은 제어기로 이전 가능)
 - ④ 토크 제어가 토크 센서로 부터 전송된 토크정보를 수신하고, 제어기로 전송한다.
- 3) 토크센서
 - ① 모터 구동 및 외력 발생 시 브릿지 회로를 통하여

- 측정된 전압 값을 통하여 전체 토크를 계산한다.
- ② 계산된 전체 토크 값을 모터 및 외력을 통하여 가해지는 토크 값으로 보상한다.
- ③ 최종적으로 계산된 토크 정보를 드라이버를 통하여 상위 제어기로 전송한다.
- 4) 서보 모터
- ① 토크를 발생하는 구동장치로서 2+N 개의 서보 모터가 사용될 수 있다.[4]

III. 7D.O.F 매니플레이터 전체 구성

3.1 요구사항

7자유도 매니플레이터 협업로봇 개발에 앞서 본 연구에서는 그림 6과 같은 7관절 구성의 매니플레이터의 형상에 맞추어 그에 따른 분석을 통하여 적절한 요구 사양을 설정하고 설정된 목표치에 근접한 협업로봇의 계약설계를 기술한다.

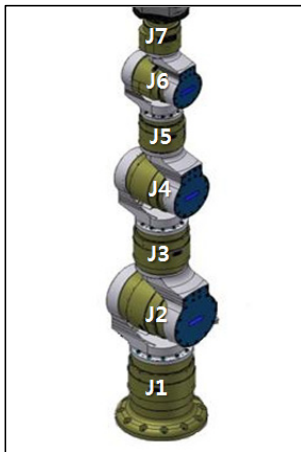


그림 6. 7자유도 매니플레이터 협업로봇 컨셉 모델
Fig. 6 7DOF Manipulator Cooperation Robot Concept Model

표 1은 완성품의 최종 요구 사양으로 설정된 내용이며, 다음의 설정된 데이터를 토대로 설계시 반영하여 하중 및 토크, 작업 반경 등을 분석 / 도출 하였다.

표 1. 7자유도 매니플레이터 요구사항

Table 1. 7DOF Manipulator Request Specification

구분	단위	요 구 사 양
Length	mm	1200
Weight	kg	75
DOF		7
Payload	kg	7.5
위치검출방식		Absolute Encoder
Material		Al6061 T6 / Ti

3.2 로봇 관절의 구성

그림 6은 각 7개의 각 관절이 조립되어 완성된 형태의 7자유도 매니플레이터의 컨셉 모델로 현재 주로 연구/개발 되어있는 6자유도 매니플레이터에 비해 작업영역 및 한계에 대한 자유도가 높고 효율적인 것으로 평가 되어 지고 있다.[5]

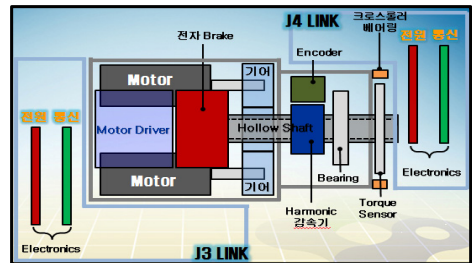


그림 7. 7자유도 매니플레이터 각 관절 구성
Fig. 7 7DOF Manipulator Articulation Composition

7자유도 매니플레이터 협업로봇의 각 관절별 세부 구성은 그림 7과 같이 관절과 연결 링크가 배치 되도록 하였으며, 연결 링크의 빈 공간을 활용하여 통신, 전원 드라이버가 삽입될 수 있도록 하여 공간 활용도를 극대화 하였으며, 크로스롤러 베어링을 적용하여 토크센서에 전달되는 굽힘 하중을 최소화하여 회전된 토크값으로 전달 될 수 있도록 유도함으로 그 정밀도를 향상 시킬 수 있는 구조로 설계 하였다.

또한 전자브레이크와 모터드라이버도 모터가 조립되고 남은 공간을 활용하여 배치시킴으로써 공간 활용도

를 최대화 시켜 보다 컴팩트한 관절 구조가 될 수 있도록 하였다.

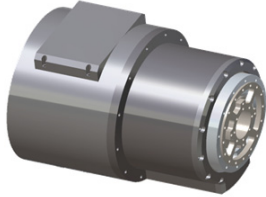


그림 8. 7자유도 매니퓰레이터 관절 (3D설계)
Fig. 8 7DOF Manipulator Articulation (3D)

3.3. 모터 선정

매니퓰레이터 설계에 있어서 가장 중요한 부분이라고 할수 있는 부분은 각관절에 사용하기 적절한 모터를 선정하는 것이다. 모터의 선정은 7축의 각 관절에 걸리는 최대하중 계산을 바탕으로 안전율을 적용한 토크값을 적용하였으며, 계산된 각 관절별 하중을 바탕으로 식 (1)과같이 하중과 기어의 전달효율에 따른 부하토크를 산출하였다.[1]

또 모터선정시 기동토크는 식 (2)를 적용하여 계산된 부하토크에 사용감속기의 감속비와 감속기효율을 대입하여 산출 하였으며, 산출된 값을 토대로 각 관절별 사용될 모터의 용량 및 사양을 결정할 수 있었다.

$$T_L = \frac{W \cdot D}{2 \cdot \eta} \quad (1)$$

$$T_M = \frac{T_L}{i \times \eta} \quad (2)$$

(T_L :부하토크, η :적용부품의 효율, W :중량, D :회전축으로부터의 거리, T_M :기동토크, i :감속비)

또한 AC Servo모터를 순간 정지하는 경우 부하의 관성이 감속기 허용 부하 내에 있는가의 여부를 확인하기 위하여 회전운동의 관성모멘트를 계산하고 감속기의 허용부하 관성모멘트와 비교하여 계산된 값에 만족하지 여부를 판단하였다.

이와 같은 방법으로 분석한 자료를 바탕으로 선정된 모터는 가장 하단의 위치한 조인트 1번의 경우에는 AC

Servo 400W급 모터 두 개를 상단의 조인트 7번의 경우에는 50W모터를 선정하여 적용함으로써 보다 효과적인 모터의 사용으로 인한 성능 안정성을 도모 하였다.

3.4. 드라이버 일체형 구조

그림 9와 같이 각 관절에서 모터가 배치되는 빈공간을 활용하여 모터드라이버 및 통신 / 진단 모듈이 배치될 수 있도록 설계 되었으며, 이러한 방법은 각 관절이 하나의 완성된 구성품으로서의 기능을 가질수 있기 때문에 향후 다양한 방법, 다양한 구조의 로봇 매니퓰레이터에 적용시킬 수 있도록 하였다.

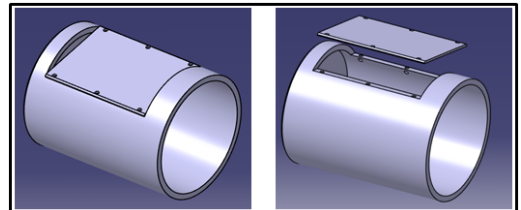
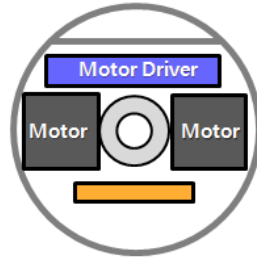


그림 9. 각 관절 전자부 배치 방법
Fig. 9 Arrangement method electronics of joint

IV. 결론 및 향후 과제

본 연구에서는 매니퓰레이션 분야에서 보다 효율적인 로봇 개발을 위하여 작업 영역의 범위가 비교적 넓은 7자유도를 적용한 매니퓰레이터를 설계하였으며, 기존의 산업용 로봇의 독립적인 작업 공간 확보와 위험성을 보완하기 위하여 토크센서를 이용한 외부압력에 의한 힘의 크기를 센싱 제어할 수 있도록 하여 인간과의 협업공정이 이루어질 수 있도록 하였으며, 사용되는 드라이버를 각 관절 내부에 배치 시킴으로써 보다 안정적이

면서도 하나의 관절 자체가 구성품으로 분해 조립이 가능하도록 구성되었다. 이는 향후 휴머노이드 및 안전성 및 다변화된 상황에서의 대응이 중요시 되는 가정용 서비스 로봇의 연구/개발 분야에 많은 도움이 될 것으로 보인다.

감사의 글

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술진흥원의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임
This research was financially supported by the Ministry of Education, Science Technology (MEST) and Korea Institute for Advancement of Technology(KIAT) through the Human Resource Training Project for Regional Innovation.

참고 문헌

- [1] Allegro MicroSystems, "DC Brush Motor Technology", Motor application solutions, pp.1-4, 2007
- [2] "New robot safety standard", ANSI/RIA R15.06,1999
- [3] C.K. Lee, W.H. Pang, "A Brushless DC Motor Speed Control System Using Fuzzy Rules", Proceeding Power Electronics and Variable-Speed Drives Conference, pp. 101-106, October 1994.
- [4] L. Feng, Y. Koren, J. Borenstien, "Cross-Coupling Motion Controller for Mobile Robots", in IEEE Control System Magazine December 1993.
- [5] Lilantha Samaranayake, "Distributed Control of Electric Drives via Ethernet", TRITA-ETS-2003-09.

저자 소개

문용선(Yong-seon Moon)



1983년 2월 조선대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1989년 2월 조선대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

1992년 - 현재 순천대학교 정보통신공학부 교수 / 레드윈테크놀로지(주) 기술이사

※ 관심분야 : 산업통신망 및 로봇, 실시간 모션 제어

배영철(Young-chul Bae)



1984년 2월 광운대학교 전기공학과 (공학사)

1986년 2월 광운대학교대학원 전기공학과 (공학석사)

1986년 ~ 1991년 : 한국전력공사

1991년 ~ 1997년 : 산업기술정보원 책임연구원

1997년 ~ 2006년 : 여수대학교 전자통신전기공학부 부교수

2006년 ~ 현재 : 전남대학교 전기전자통신컴퓨터공학부 교수

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

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 (주)메트로 시스템 엔지니어링 입사

※ 관심분야 : 자동화 시스템, 산업통신망



박용구(Yong-gu Park)

2009년 2월 순천대학교 자동차공학
과(공학사)

2009년 2월 ~ 현재 레드원테크놀로지(주) 연구원

※ 관심분야 : 로봇 설계, 모터 설계