

로봇용 중력보상기의 특성 및 적용 연구

최형식* · 김동호** · 전지광** · 엄태웅**

*한국해양대학교 기계정보공학부 교수, **한국해양대학교 대학원 기계공학과

Study on a gravity compensator for the robot

H. S. Choi* · D. H. Kim** · J. K. Jeon** · T. W. Um**

*Division of Mechanical system Engineering, National Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

**Graduate school of National Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

요약 : 본 연구에서는 토션바 스프링의 복원력을 이용하며 중력으로 인하여 로봇의 관절구동기에 가해지는 부하를 보상하는 새로운 장치인 중력보상기의 설계와 이의 구조에 대한 연구내용을 설명한다. 중력보상기를 로봇관절에 적용하면, 로봇관절에 중력으로 인하여 가해지는 부하를 경감하여 구동모터의 성능을 상대적으로 개선한다. 인체의 다리에 착용하는 하지 보상기구의 관절부에 토션바를 이용한 중력보상기 적용 개요에 대해 소개한다.

핵심용어 : 토션바, 중력보상기, 로봇

ABSTRACT : In the past, a design and analysis of a gravity compensator(GC) based on a torsional spring, which is a new device to reduce the joint torque of robots caused due to gravity is presented. By applying the GC to the robot joints, the load torques applied to the robot joints due to gravity are relatively reduced such that the performance of the joint actuation motor of the robot can be improved. The characteristics of the GC is studied through experiments. Also, an application of the GC to the exo-skeleton device is introduced.

KEY WORDS : torsion bar, gravity compensator, robot

1. 서 론

휴머노이드 로봇이나 산업용 다관절 로봇팔의 경우에 고중량의 작업물을 이송하기 위해서는 고평토크를 낼 수 있는 관절의 성능이 매우 중요하다. 이러한 휴머노이드나 다관절 로봇팔의 관절부는 중력의 영향을 받는 로봇의 자중이나 이송 물체의 중량으로 인해 큰 부하토크를 받게 되고 이 부하토크는 관절부를 이루고 있는 관절구동기의 용량을 크게 설계하는데 직접적인 영향을 미친다. 따라서 토크성능이 뛰어난 관절구동기에 대한 연구와 이를 적용한 로봇에 대한 연구들이 수행되었다.

큰 힘을 낼 수 있는 구동기로는 유압을 이용한 것이 있다. 유압구동기를 보행로봇의 관절구동기로 사용하여 구동토크를 증대하는 연구가 있었다[1]. 하지만, 유압구동기는 무겁고 보수유

지가 어려운 단점으로 사용에 어려움이 있어서 보편적으로 사용되지 못하고 있다. 다른 관절구동기로는 경량으로 구성하여 로봇 암의 토크성능을 증대시키기 위하여 압축 공기주머니의 인공근육을 적용하여 중량대비 높은 가반하중을 가지는 공압 관절구동기에 대한 연구가 있었으나 이는 관절구동기의 위치 및 속도 제어에 어려운 문제가 있었다[2]. 또한, 보행로봇의 토크성능을 높이기 위해 관절구동기에 인장스프링을 적용하여 가해지는 중력을 보상하여 구동 관절구동기의 부하를 감소시켜 관절구동기의 토크성능을 높이는 장치를 적용한 연구가 있었고[3], 관절구동기의 토크성능을 높이기 위하여 스크류와 너트로 구성된 크랭크 형태의 관절구동기를 고안하여 로봇에 적용한 연구가 있었다.

* hchoi@hhu.ac.kr 051)410-4297

** ddong3101@nate.com gaeco21@nate.com redgust@nate.com 051)410-4969

2. 토션바를 이용한 중력보상기 구성과 성능

2.1 토션바를 적용한 중력보상기 구조

토션바를 적용한 중력보상기(이하 중력보상기)의 구조는 다음 Fig. 1과 같이 링크와 링크 사이에서 일어나는 관절의 회전운동을 토션바의 비틀림 탄성력을 이용하여 외부에서 가해지는 힘을 감쇄시키는 구조이므로 중력으로 인한 외력의 보상을 하는데 매우 효과적인 장치이다. 로봇 관절구동기에 적용할 경우에는 관절구동기를 이루는 구동모터와 감속기에 직결하여 구성할 수 있다. 이는 Fig. 2에서와 같이 로봇 관절부에 고정되는 고정판과 이에 밀착하여 중심이 로봇의 링크가 결합되는 모터/감속기의 회전축에 결합되어 회전하는 회전판, 그리고 회전판 면의 원주를 따라 형성된 슬롯과 슬롯 내에 삽입되는 스프링으로 구성되는 매우 간결한 구조로 구성된다. 중력보상기의 부하토크 감쇄는 회전판에 연결된 로봇 링크에 가해지는 중력으로 인한 부하가 회전각에 따라 원주방향의 스프링을 압축시켜 이의 반발력에 비례하여 부하를 감소시키는 특성을 갖도록 구성하였다.

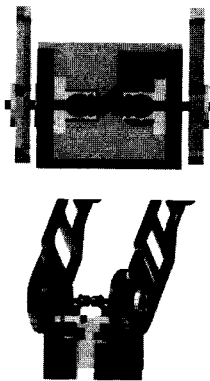


Fig. 1 Outlook of the developed gravity compensator

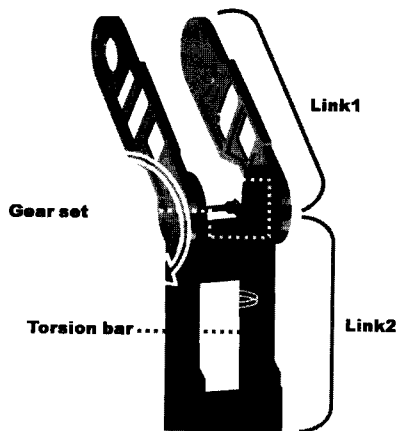


Fig. 2 Joint Link with gravity compensator

본 연구에서 개발한 중력보상기는 회전운동을 하는 로봇 팔이나 보행 로봇에 가해지는 중력에 의한 부하를 보상하는 장치의 연구개발에 대한 것이다. 구동모터와 감속기로 구성된 관절구동기에 가해지는 중력에 의한 부하 모멘트를 감속기에 연결된 베벨기어를 통해 연결된 토션바의 비틀림에 상응하는 토크로 부하토크를 저감시켜 상대적으로 관절구동기의 토크 성능을 증가시키는 특성을 갖는다.

본 연구에서 개발한 중력보상기는 부하에 따라 토션바의 직경과 길이를 선정하여 기구부를 설계함으로써 간단하게 관절에 적용할 수 있어 수직하중을 받는 회전 관절 기구부에 적용이 용이하다.

2.2 중력보상기의 역학해석

보상력을 결정하는 토션바의 특성에 대한 역학관계 통한 계산은 기구부 설계에 있어서 기본적인 설계인자를 제공한다. 기구부를 구성하는 링크에 가해지는 부하를 중력보상기가 감쇄하는 역학관계는 Fig. 3과 같이 표현된다.

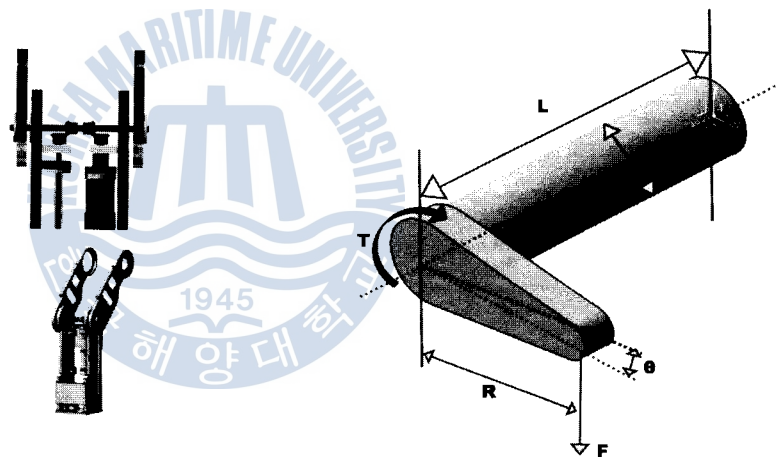


Fig. 3 Operational structure of the torsionbar

$$T = FR \cos \theta \quad (1)$$

여기서 T 는 토션바의 비틀림으로 발생하는 보상 토크이다. F 는 링크에 걸리는 하중이다. R 은 토션바와 결합된 링크와 하중 F 가 걸리는 거리이다. 토션바의 회전각도 $\Delta \theta$ 에 비례하여 보상력이 발생한다.

$$\tau_{\max} = \frac{16T}{\pi d^3} \quad (2)$$

여기서 τ_{\max} 는 토션바 재질에 따른 허용전단응력이다. 보상 토크 T 와 허용전단응력에 따라 토션바의 직경 d 를 정할 수 있다.

$$\theta = \frac{32}{\pi d^4} \cdot \frac{T \cdot L}{G} \quad (3)$$

중력보상기의 보상력과 허용 각도와의 관계는 식(3)으로 정리된다. L 은 토션바의 길이이다.

식(1) ~ (3)은 회전관절부에 중력보상기의 적용으로 인한 보상력과 설계 인자들간의 관계를 나타낸다. 토션바의 특성값들을 통하여 나온 값들을 종합하여 중력보상기의 용량을 결정하며 이를 하지근력보조기구에 적용된다.

고안된 중력보상기를 최적으로 설계하여 근력보조장치에 적용하면 구동기를 사용하지 않고 회전각에 따른 토크를 보상할 수 있다. 본 논문에서는 중력보상기의 성능을 검증하기 위하여 기본적인 실험 장치를 구축하고 실험하였다.

2.3 중력보상기의 특성 실험

본 논문에서는 토션바의 성능과 기계적 특성을 알아보기 위하여 실험 장치를 제작, 성능 실험을 진행하였다. Fig. 4는 중력보상기의 실험 장치 구성을 나타낸다. 실험에 사용된 토션바는 길이 307mm 지름 6mm의 스프링 강이고 하중이 걸리는 링크와 헬리컬 베벨기어로 연결하여 링크에 걸리는 하중의 변화에 따라 토션바의 비틀림 각을 측정하여 이를 계산된 이론값과 비교하여 제작된 토션바에 걸리는 부하에 따른 각도변화를 측정하였다.

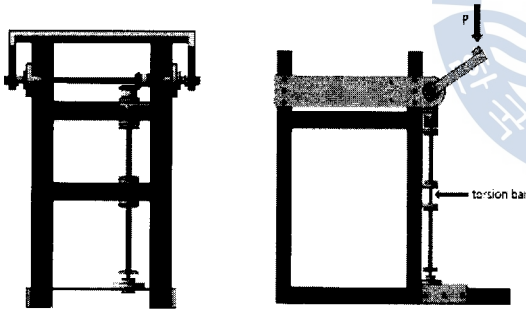


Fig. 4 Performance test of gravity compensator

Table 1은 실험 결과와 계산된 이론적 수치를 비교하여 나타낸 것이고 Fig.5는 결과 그래프이다.

Table 1 Test result of gravity compensator

Load(kgf)	Theoretical	Test
2.5	5.83°	5.94°
5	11.63°	10.7°
7.5	17.34°	16.1°
10	22.91°	20.9°
12.5	28.28°	25.9°
15	33.42°	30.1°

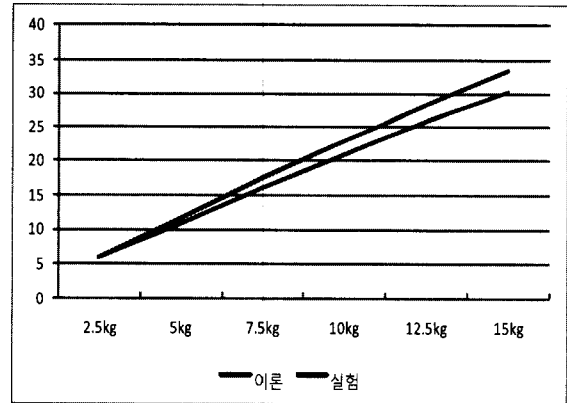


Fig. 5 Test result of gravity compensator

실험값을 통하여 외부 하중 증가에 따른 토션바의 각도 변화는 역학식을 기초로 한 값과 거의 동일하다는 것을 확인하였다. 또한 선형적인 실험결과로 토션바를 기구부에 적용하여 중력보상기의 보상력을 이용한 하지근력보조기구의 해석 및 설계의 가능성을 확인하였다.

3. 중력보상기 적용한 하지근력보조 장치 개요설계

3.1 하지 근력보조기구의 사용대상 선정

하지근력보조기구를 설계 전 기구를 사용할 인체정보를 결정하여야 한다. 근력보조기구의 경우 사람이 직접 착용하여 사용하기 때문에 사용대상을 선정하고 인체정보를 통하여 근력보조기구를 설계하는 것이 적용에 유리하다. 또한 인체의 관절운동을 제약하거나 필요 이상의 회전 각도를 가지게 될 경우 실험자나 사용자에게 불편함을 제공할 수 있으므로 통계적인 자료와 실측자료를 겸하여 설계 적용해야 한다(Table 2와 Table 3은 산업자원부 기술표준원에서 시행한 2004년 제5차 한국인 인체치수조사사업 보고서의 항목들이다).

신체 통계 자료를 통하여 근력보조기구 부분 관절의 링크 길이 및 전체 크기를 선정한다.

Table 2 Body size in age group

항목 \ 연령	25~29세	30~34세	35~39세	40~49세
엉덩이 너비	331	333	334	330
넓다리직선길이	295	289	284	281
앉은키	931	926	925	916
다리가쪽길이	1068	1059	1053	1038

Table 3 Weight in age group

연령	몸무게(kg)	비고
18~24세	68.5	
25~39세	71.3	
40~59세	69.9	

3.2 하지 근력보조기구의 관절기구부 구성

중력보상기를 적용한 하지근력보조기구의 전체시스템은 총 6 자유도를 갖는다. Fig.6 및 Fig.7과 같이 6자유도 중 골반의 피치관절과 무릎 관절에 4곳에는 새롭게 고안한 중력보상기를 적용하는 개요도를 구성하였다.

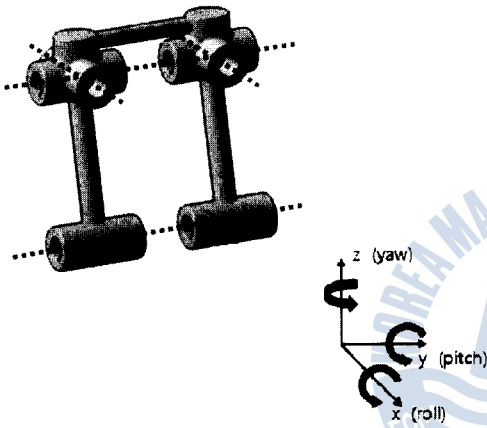


Fig. 6 Joint structure of exoskeleton

근력보조장치는 기초적인 보행과 특정 자세에서 관절에 무리를 주는 외력을 자연스럽게 보조할 수 있는 기구부를 가져야 한다. 하지만 신체가 다양한 사용자들을 고려해야 하기 때문에 인체 관절의 회전중심에 근력보조장치의 회전중심을 맞출 수 있도록 하였다.



Fig. 7 Design of the exoskeleton

하지근력보조기구의 고관절 기구부의 경우 2자유도를 가지며 자연스러운 움직임을 가질 수 있도록 구성되어있다. 기구부 관절 운동 범위의 경우 인체의 부분적 관절운동에 따른 제한 각 통계자료를 통하여 운동범위를 정하였다. 피치 운동을 하는 2축에는 중력으로 인해 인체에 생기는 부하를 완하시키기 위해 새롭게 고안한 중력보상기를 적용하는 개요설계를 하였다.

4. 결 론

본 논문에서는 중력으로 인하여 로봇의 관절구동기에 가해지는 토크 부하를 경감할 수 있는 새로운 개념의 토션바 중력보상기 구조 및 이의 기초적인 특성연구를 수행하였다. 이를 위하여 중력보상기 및 이의 시험 장치를 직접 제작하여 시험장치가 이론에 부합하는 지에 대한 실험을 수행하였다. 실험결과를 통하여 중력보상기의 실험치가 이론치에 근접함을 확인하였다.

또한, 개발한 중력보상기의 산업 현장에서 노동자들이 사용하여 근골격계 질환을 예방할 수 있는 하지 근력보조장치로의 적용에 대한 기초연구를 수행하였다.

후 기

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술진흥원의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

참 고 문 헌

- [1] A. Takanishi, M. Ishida, Y. Yamazaki, and I. Kato, 1985: The Realization of Dynamic Walking by The Biped Walking Robot WL-10RD, J. of the Robotics Society of Japan, Vol.3, pp.325-336.
- [2] M. Damme, F. Daerden, and D. Lefeber, 2005: A pneumatic manipulator used in direct contact with an operator, IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, pp.4505-4510.
- [3] J. Yamaguchi, D. Nishino, and A. akanishi, 1988: Realization of Dynamic Biped Walking Varying Joint Stiffness Using Antagonistic Driven Joints, IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp.2022-2029.
- [4] B. Espiau, P. Sardain, 2000: The anthropomorphic biped robot BIP2000, Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp.3996-4001.

원고접수일 : 2010년 01월 11일

원고채택일 : 2010년 02월 10일