생체 모방 설계에 기반한 분산 구동 메커니즘의 무단 변속기

김종호*
*계명대학교 자동차시스템공학전공
e-mail: jonghokim@kmu.ac.kr

Continuously Variable Transmission of Distributed Actuatuation Mechanism based on Biomimetic Design

Jong Ho Kim*
*Dept. of Automotive System Engineering, Keimyung University

요 약

본 논문에서는 생체 모방 설계에 기반한 분산 구동 메커니즘의 무단 변속 시스템을 제안하였다. 이를 위해 손가락의 구동 방식에 기반하여 분산 구동 메커니즘을 리드스크류를 적용하여 설계하였다. 그리고 구동 모터의 입력 속도 대비 관절의 출력 속도를 수학적으로 정의하였다. 이를 수치적으로 비교 분석 하기위해 기존의 구동 방식인 조인트 구동 메커니즘을 도입하였다. 수치적인 분석 결과 조인트 구동 방식은 하나의 기어비만을 갖는 반면 분산 구동 메커니즘은 연속적인 기어비를 갖을 수 있음을 입증하였다.

1. 서론

로봇의 관절을 회전하기 위해 가장 많이 쓰이는 구동기는 전기 모터이다. 일반적으로 전기 모터는 속도가 빠른 대신 토크가 작기 때문에 감속기의 사용이 요구된다. 이러한 감속기로는 기어, 혹은 하모닉 드라이브 등이 사용되며 로봇의 설계 시 하나의 기어비 값을 정하여 사용되는 것이 일반적이다.

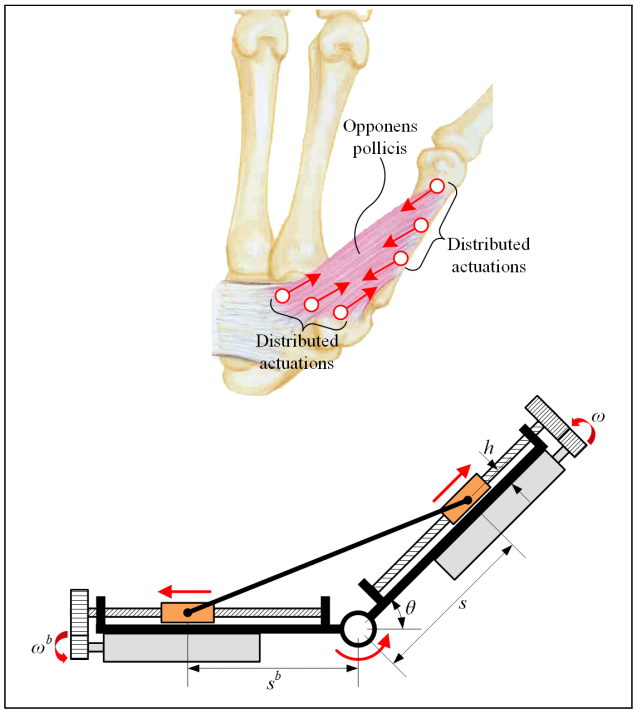
이를 개선하고자 기어비를 변경하여 로봇을 구동하기 위한 연구들이 수행되었다. 줄꼬임 반경을 이산적으로 적용하여 빠른 속도와 큰 힘을 내는 로봇 손에 대한 연구가 수행되었다 [1].

또한, 자동차의 변속기에 많이 쓰이는 무단 변속기(continuously variable transmission)처럼 기어비를 연속적으로 변경할 수 있는 메커니즘에 대한 연구가 수행되었다. 연속가변 기어링 시스템으로서 여러 선형 샤프트 모터를 이용한 병렬 링크 매니퓰레이터가 제안되었다 [2].

한편, 자연에서도 연속적으로 기어비를 변경하는 예를 찾을 수 있는데, 근육 속도 대 섬유 속도의 비율을 건축적 기어비로 정의하고 이 값이 근육에 가해지는 하중에 따라 변한다는 것을 발견했다 [3].

본 논문에서는 생체 모방 설계를 통해 개발된 분산 구동 메커니즘과 이에 기반한 무단변속 시스템을 제안하고자 한다. 또한, 구조적 기어비를 수학적으로 정의하고 시뮬레이션을 통해 기존의 구동 방식과 수치적으로 분석한다.

2. 생체 모방에 기반한 메커니즘 개발



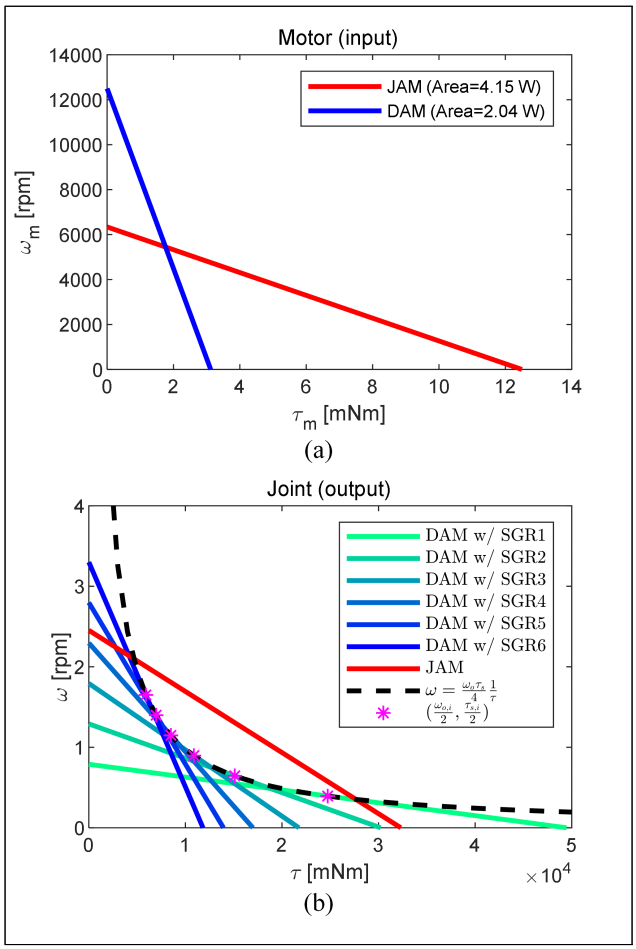
[그림 1] 분산된 근육에 의한 손가락 움직임을 모방하여 설계된 분산 구동 메커니즘

손가락의 정교한 움직임은 공간상에 분산되어 구동하는 근육 덕분에 가능하다. 그림 1을 보면 근육이 분산되어 손가락이 구동됨을 확인할 수 있다. 이를 모방하여 설계된 분산 구동 메커니즘이 공간상에 분산된 근육의 구동을 가이드를 따라 이동하면서 구동되는 슬라이더로 구현하여 개발되었다[4]. 본 연구에서는 가이드를 따라 선형운동하는 슬라이더를 구현하기 위해 그림 1과 같이 리드스크류를 이용하였다.

3. 분산 구동 메커니즘의 무단 변속기

분산 구동 메커니즘은 슬라이더의 선형 운동을 통해 조인트의 회전 운동을 가능하게 한다. 그리고 본 논문에서 제안하는 리드스크류 기반의 선형운동은 모터의 회전 운동을 슬라이더의 선형 운동으로 전환한다. 따라서 모터의 입력 속도 대비 조인트의 출력 속도의 비를 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\frac{\dot{\theta}}{\omega}=\frac{\cos\theta\left(s^b-h\tan\frac{\theta}{2}\right)+\left(s-h\tan\frac{\theta}{2}\right)}{h\cos\theta\left(s+s^b\right)+\sin\theta\left(ss^b+h^2\right)}\frac{L}{2\pi} \quad (1)$$



[그림 2] (a) DC모터의 특성 커브, (b) 구조적 기어비에 따른 조인트의 특성 커브

수식 (1)을 구조적 기어비(SGR; strucural gear ratio)라 정의하고 이를 각각 기존의 구동 방식인 조인트 구동 메커니즘(JAM; joint actuation mechanism)과 분산 구동 메커니즘(DAM; distributed actuation mechanism)에 적용하여 시뮬레이션하였다. 이를 위해 그림 2 (a)와 같은 특성 커브를 갖는 모터를 JAM과 DAM에 각각 적용하였다. 그 결과 기존의 조인트 구동 메커니즘은 하나의 기어비만을 갖는 반면 분산 구동 메커니즘은 슬라이더의 위치에 따라 연속적으로 변하는 기어비를 최소 1.16E-03에서 최대 4.87E-03까지 갖을 수 있음을 입증하였다.

4. 결론

본 논문에서는 생체 모방 설계에 기반한 분산 구동 메커니즘의 무단 변속 시스템을 제안하였다. 기존의 조인트 구동 메커니즘이 하나의 기어비만을 갖는 반면 분산 구동 메커니즘은 연속적으로 변하는 무단 변속 시스템을 갖는 것을 수치적으로 입증하였다. 또한, 후속 연구로 개발된 메커니즘을 활용하여 효율적인 운동을 수행하는 로봇의 개발도 가능할 것으로 본다.

참고문헌

[1] Y. J. Shin, H. J. Lee, K.-S. Kim, and S. Kim, “A Robot Finger Design Using a Dual-Mode Twisting Mechanism to Achieve High-Speed Motion and Large Grasping Force,” IEEE Trans. Robot., vol. 28, no. 6, pp. 1398 - 1405, Dec. 2012.

[2] K. Tahara, S. Iwasa, S. Naba, and M. Yamamoto, “High-backdrivable parallel-link manipulator with Continuously Variable Transmission,” in 2011 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 1843 - 1848, 2011.

[3] E. Azizi, E. L. Brainerd, and T. J. Roberts, “Variable gearing in pennate muscles,” Proc.Natl. Acad. Sci., vol. 105, no. 5, pp. 1745 - 1750, Feb. 2008.

[4] Y. J. Shin and K.-S. Kim, “Distributed-actuation mechanism for a fingertype manipulator: theory and experiments,” IEEE Trans. Robot., vol. 26, no. 3, pp. 569 - 575, Jun. 2010.