

2 차원패턴 Spherical 6-Bar 의 기구학적 해석 Kinematic Analysis of 2D-Pattern Spherical 6-Bar Linkage.

*김홍집¹, 고제성¹, #조규진¹

*H.J.Kim¹, J. S. Koh¹, #K. J. Cho(kjcho@snu.ac.kr)²

¹서울대학교 기계항공공학부

Key words : 2D pattern, Spherical mechanism, Kinematic analysis

1. 서론

작은 스케일에서 기계, 기구시스템을 제작할 때 Flexure 필름 조인트와 복합재료 링크를 이용하면 금속을 기반으로 제작할 때보다 에너지소비와 생산비용을 줄일 수 있다. Flexure 필름 조인트와 복합재료를 이용한 제조 공정을 Smart Composite Microstructures (SCM) 하는데 이 공정을 이용하면 작은 스케일에서 기존의 여러 가지 기계 요소를 대체하여 밀리미터 스케일의 로봇을 제작 할 수 있다.[1]

복합재료와 Flexure 조인트 기반의 기계 요소는 UV 레이저 가공을 통해 정밀하게 제작되는데, 레이저 가공이 2 차원적인 특성을 가지기 때문에 3 차원 설계가 아닌 2 차원 평면 설계가 필요하게 된다. 따라서 기존의 기계 요소를 평면상에서 구현해야 한다. 1 자유도 회전 조인트의 경우 하나의 접히는 Flexure 조인트로 구현 가능하지만 Universal 조인트와 같은 2 자유도 이상의 조인트는 평면상에서 구현하기가 쉽지 않다.

본 연구에서는 이론적으로 2 자유도 이상을 구현할 수 있는 spherical 6-bar linkage 의 평면 설계 방법에 대해 살펴보았다. 2 차원 패턴 spherical 6-bar linkage 은 작은 스케일 에서의 로봇 요소[2]와 로봇 손가락으로의 응용이 가능할 것이다.



Fig.1 Paper origami trial version of SCM universal joint (a) Neutral state. (b) Pitch bending motion. (c)-(d) Yaw Steering motions

2. 설계

2 자유도 이상을 가지고 있는 대표적인 기계요소로는 2 개의 회전조인트가 수직으로 교차하고 있는 Universal 조인트가 있다. 하지만 평면상에서 회전축을 수직으로 교차시킬 경우 사점 (Dead Point)이 발생하여 구조체가 전혀 움직이지 않는 현상이 발생한다.

이러한 현상을 피하기 위해서 Fig.1 (a)에서처럼 회전축이 일정한 각(θ)을 가지고 교차되게 설계하였다. 아래쪽과 위쪽 삼각형이 반으로 접히며 수축하면 각 방향으로 회전하게 되고 (Fig1. (c), (d)), 두 쪽 다 접으면 앞으로 회전하기 때문에 (Fig.1 (b)) 2 자유도를 가지게 된다. 모든 회전축이 한 점 에서 만나고 있고 링크가 6 개이기 때문에 Fig.1 의 구조체는 2 차원에서 만든 spherical 6-bar linkage 라고 할 수 있다.

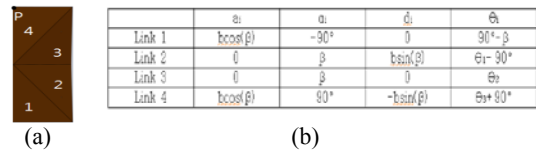


Fig.2 (a) Half side of spherical 6-bar linkage. (b) D-H Parameter for spherical 6-bar.

3. 기구학 해석

2 절에서 살펴보았듯이 Fig.1 의 구조체는 Spherical linkage 일종이기 때문에 일반적인 기구학적 해석방법을 적용 할 수 있다.

3.1 조향 동작 해석

Fig.1 (c),(d)에서처럼 아래쪽과 위쪽 삼각형이 반으로 접히며 수축하면 조향 동작이

일어나게 된다. 완벽한 해석을 위해서는 6 개의 링크를 모두 고려해서 닫힌 고리에 대한 방정식을 풀어야 하지만, 조향 동작에서는 6 절 링크구조의 한쪽 부분만 구동을 하기 때문에 반대편은 동작에 큰 영향을 미치지 않는다. 그래서 Fig.2 에서 처럼 6 절 링크구조의 반쪽을 자른 다음 구동을 하는 부분만 해석을 하였다. 이렇게 되면 4 개의 링크를 가지는 열린 고리 매니퓰레이터 (Manipulator) 가 되기 때문에 Table 1 에 나와 있는 D-H 변수와 spherical 6-bar linkage 정기구학 해석을 할 수 있게 된다.

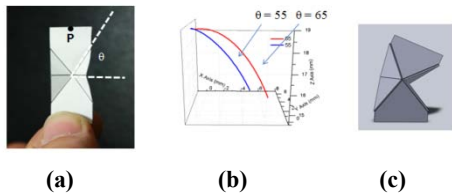


Fig.3 (a) Shape angle (b) Trace of endpoint P. (c) Simulation result obtained by Recurdyn.

Fig.3 (b)는 회전축 사이의 각도 θ 가 55° 일 때와 65° 일 때 6 절 구면 링크구조의 끝점 P 의 궤적을 정기구학 해석을 통해 구한 것이다. θ 가 늘어남에 따라 조향의 정도가 커지는 것을 알 수 있다. 이는 [3]에서 실험적으로 얻었던 결과와 일치한다.

3.2 굽힘 동작해석

Fig.1 (d)에서처럼 링크구조의 양쪽을 다 접게 되면 굽힘 동작이 일어나게 된다. 이상적인 굽힘 동작이라면 끝점의 궤적은 회전축의 교차점을 중심으로 하는 원을 그리게 된다. 이상적인 굽힘 동작을 생성하기 위해서는 역기구학 해석이 필요하다. 굽힘 동작은 굽힘각도 β 에 대한 식으로 나타낼 수 있기 때문에 식(1)와 같이 회전 행렬만을 사용해서 나타낼 수 있다.

$$R_\theta R_1 R_2 R_3 R_{-(90+\theta)} = R_\beta \quad (1)$$
 위 식을 풀게 되면 식(2)과 같은 관계식이 나오게 되고 이 관계식을 이용해서 정기구학 해석을 진행해보면 이상적인 굽힘 동작궤적이 나오게 된다.

$$\theta_2 = \beta \quad (2)$$

$$\theta_1 = \theta_3 = \tan^{-1}\left(\frac{2 \cos \beta \sin \theta_2 (1 + \cos \theta_2)}{\sin \theta_2 - \cos^2 \beta (1 + \cos \theta_2)^2}\right) \quad (3)$$

굽힘 동작의 궤적은 회전축 사이의 각도 θ 와 관련이 없지만, 최대 굽힘각도 β_{Max} 는 θ 와 밀접한 관련이 있었고 기하학적 해석을 통해 다음과 같은 관계식을 얻어낼 수 있었다.

$$\beta_{Max} = \pi - 2\theta \quad (4)$$

4. 결론

본 연구에서는 평면에서 2 자유도이상을 구현할 수 있는 2 차원 패턴 spherical 6-bar linkage 를 설계하였고 기구학적 해석을 수행하였다. 2 차원 패턴 spherical 6-bar 의 주요동작인 조향 동작, 굽힘 동작 모두 회전축사이의 각도 θ 와 밀접한 관계가 있음을 알 수 있었다. 본 연구결과는 자벌레 로봇이나 로봇손가락 같은 다양한 기계를 설계, 제어하는 기초자료로 활용될수 있을 것이다.

후기

이 논문은 2010 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임. (No. 2010K001149, 2010-0015500)

참고문헌

1. Wood, R.J., Avadhanula, S., Sahai, R., Steltz, E., and Fearing, R.S., "Microrobot design using fiber reinforced composites," Journal of Mechanical Design, vol. 130, p. 052304, 2008.
2. Je-Sung Koh., Kyu-Jin., "Omeagabot: Crawling Robot Inspired by Ascotis Selenaria," IEEE International Conference Robotics and Automation. ICRA 2010, 2010, pp. 109 - 114.
3. 고제성, 김홍집, 조규진, "복합재료와 형상기억합금 스프링 구동기를 이용한 밀리 스케일 로봇 프레임 설계 및 제작," 한국 정밀 공학회 춘계 학술 대회 논문집, pp335-336, 2010.