

저자
(Authors) 권동욱, 정슬
DongWook Kwon, Seul Jung

출처
(Source) [정보 및 제어 논문집](#), 2018.10, 73-74(2 pages)
[INFORMATION AND CONTROL SYMPOSIUM](#), 2018.10, 73-74(2 pages)

발행처
(Publisher) [대한전기학회](#)
The Korean Institute of Electrical Engineers

URL <http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE07562576>

APA Style 권동욱, 정슬 (2018). 가위 쌍 구조 CMG 시스템 동적 해석 연구. 정보 및 제어 논문집, 73-74

이용정보
(Accessed) 충남대학교
168.***.117.183
2019/09/03 11:13 (KST)

저작권 안내

DBpia에서 제공되는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, 누리미디어는 각 저작물의 내용을 보증하거나 책임을 지지 않습니다. 그리고 DBpia에서 제공되는 저작물은 DBpia와 구독계약을 체결한 기관소속 이용자 혹은 해당 저작물의 개별 구매자가 비영리적으로만 이용할 수 있습니다. 그러므로 이에 위반하여 DBpia에서 제공되는 저작물을 복제, 전송 등의 방법으로 무단 이용하는 경우 관련 법령에 따라 민, 형사상의 책임을 질 수 있습니다.

Copyright Information

Copyright of all literary works provided by DBpia belongs to the copyright holder(s) and Nurimedia does not guarantee contents of the literary work or assume responsibility for the same. In addition, the literary works provided by DBpia may only be used by the users affiliated to the institutions which executed a subscription agreement with DBpia or the individual purchasers of the literary work(s) for non-commercial purposes. Therefore, any person who illegally uses the literary works provided by DBpia by means of reproduction or transmission shall assume civil and criminal responsibility according to applicable laws and regulations.

가위 쌍 구조 CMG 시스템 동적 해석 연구

권동욱, 정 슬

충남대학교 메카트로닉스공학과 지능시스템 및 감성공학 실험실

Studies on Dynamic analysis of a CMG System with a Scissored-pair Structure

DongWook Kwon and Seul Jung

Intelligent Systems and Emotional Engineering Laboratory
Department of Mechatronics Engineering, Chungnam National University

Abstract - Control Moment Gyroscope(CMG)는 자이로 토크를 생성하는 간접 구동기이다. 가위쌍 구조를 갖는 CMG 제어의 어려움은 생성되는 자이로 토크가 벡터의 형태로 짐벌의 각도에 따라 방향과 크기가 결정된다는 것이다. 원하는 움직임의 CMG 구동기 제어를 보다 정확하게 하기 위해서는 CMG의 짐벌 움직임에 따른 자이로 토크의 생성 궤적에 관한 분석이 필요하다. 본 논문에서는 3차원 구 좌표계에서 가위 쌍 구조를 갖는 두 개의 CMG의 짐벌 움직임에 따른 자이로 토크 생성 궤적을 분석하고자 한다. 이 토크 궤적을 이용하여 선형 움직임을 생성하는 힘으로 변형하는 것이 목적이다.

1. 서 론

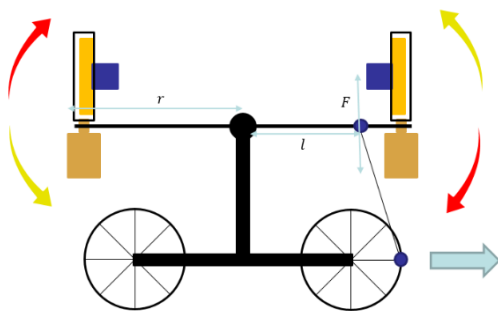
CMG의 원리는 고속으로 회전하는 플라이휠이 각운동량을 생성하고 플라이휠이 위치한 짐벌의 각속도와 외적으로 인해 돌림힘(gyroscopic torque)을 얻는다. 즉 짐벌의 각속도가 돌림힘의 방향과 크기를 제어하게 된다. 이러한 돌림힘 제어 기술은 위성의 오리엔테이션, 선박의 횡동요 제어, 바이시클의 롤 각의 밸런싱 등을 제어할 수 있다 [1,2]. 이러한 CMG가 회전축 중심으로 양쪽에 있고 회전자의 각운동량 벡터를 같게 제어하면 원하는 방향으로 돌림힘을 얻을 수 있다.

하나의 CMG는 시간에 따라 짐벌의 각도가 흐르는 드리프트 현상이 발생되어 결국 null motion에 이르게 되는 문제점이 있다 [3]. 먼저 이를 해결하여 원하는 방향으로 힘을 생성하도록 해야 한다. 또한 생성된 돌림힘은 벡터이므로 원하는 방향으로 극대화하는 것이 필요한데 가위쌍 구조를 통해 두 배로 극대화 할 수 있다 [4]. 가위 쌍 회전자는 같은 무게와 각속도를 갖는 두 개의 CMG가 마주보는 구조로 되어 있어 짐벌 모터의 각속도가 서로 같을 때 원하는 방향의 토크는 상쇄되고 원하는 한쪽 방향의 토크를 얻는다. 이처럼 CMG의 동기화를 통한 돌림힘의 극대화를 추구하는 것이 CMG를 구동기로 사용하는 모든 분야의 연구의 목적이었다.

하지만 짐벌 모터의 각속도가 다르면 전혀 예상치 못한 방향의 카오스(chaos)적인 토크가 생성이 된다. 이러한 각속도의 불일치에 따른 힘을 이용하려면 이에 대한 힘의 분석이 필요하다. 특히 회전 방향의 움직임을 생성하는 돌림힘에 제한이 있는 CMG의 구동토크를 선형 움직임으로 변형하는 그림 1과 같은 메카니즘을 위해 구현하기 위해서는 구 좌표계에서 토크의 분석이 필요하다. 그림1에서 보면 두 CMG가 시소 움직임을 생성하고 크랭크 구조에 의해 그에 따른 선형 움직임이 생성되는 것을 보여준다.

따라서 본 논문에서는 두 CMG의 카오스적인 동적 특성을 알아보기 위해 구 좌표계에서 돌림힘을 분석하였다. 두 CMG가 마찰이 없는 볼 조인트를 통해 연결되어 있어 2 자유도의 방향으로 움직임이 가능하다고 가정하고 분석하여 시뮬레이션을 수행하였다. 적절한 토크를 제어하므로 두 CMG가 시소형태의 움직임을 생성하는 것의 시뮬레이션을 수행하였다.

논문의 구성은 다음과 같다. 1장에서는 본 연구의 배경을 소개한다. 2.1 절에서는 시뮬레이션에 적용될 가위 쌍 구조 CMG 시스템의 사상을 제시한다. 2.2 절에서는 설계한 3차원 구 좌표계에서 힘을 분석한다. 2.3절에서는 짐벌 움직임에 따른 자이로 토크 시뮬레이션 결과를 제시한다. 3장에서는 결론과 향후 연구를 제시한다.



<그림 1> CMG를 이용한 선형 움직임 생성 개념

2. 본 론

2.1 CMG 모델

그림 2는 두 개의 CMG가 가위쌍 구조를 이루고 있는 모습을 나타낸다. 양쪽에는 같은 질량과 모양을 갖는 플라이휠이 장착되어 있는 CMG 1, 2로 이루어져 있다고 가정한다. 플라이휠은 각각 H1, H2 방향으로 운동량을 생성하도록 회전한다. 짐벌 모터는 돌고 있는 플라이휠의 각운동량을 변화시켜 외적으로 나타나는 토크를 생성한다.

CMG의 출력 토크는 다음과 같이 생성된다.

$$\tau = \vec{H}_f \times \vec{w}_g \quad (1)$$

여기서 플라이휠의 각운동량(\vec{H}_f)과 짐벌의 각속도(\vec{w}_g)는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \vec{H}_f &= w_f I_f \cos\theta \vec{j} - w_f I_f \sin\theta \vec{i} \\ \vec{w}_g &= \theta k \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 I_f 는 플라이휠의 관성모멘트이고 θ 는 짐벌의 각도 그리고 θ 는 짐벌의 각속도이다.

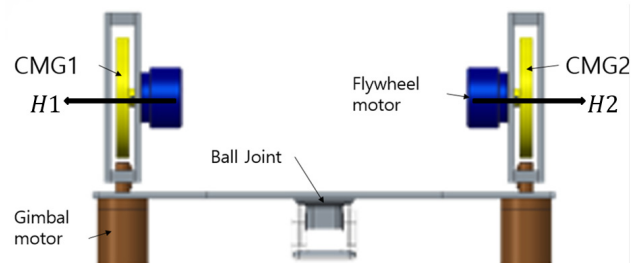
수식 (2)를 수식(1)에 대입하여 정리하면 다음과 같이 자이로 토크를 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \tau &= \vec{H}_f \times \vec{w}_g \\ &= \theta w_f I_f \cos\theta \vec{i} + \theta w_f I_f \sin\theta \vec{j} \end{aligned} \quad (3)$$

가위쌍 구조의 두 CMG의 토크를 합하면 원치 않는 방향의 토크는 상쇄되고 원하는 방향의 토크는 두 배로 커져서 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \tau &= \tau_1 + \tau_2 \\ &= 2\theta w_f I_f \cos\theta \vec{i} \end{aligned} \quad (4)$$

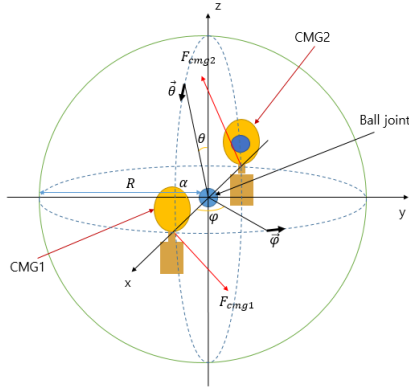
그림 2에서 보면 두 CMG는 가운데 ball joint를 중심으로 2 자유도 회전 운동을 한다.



<그림 2> Scissored pair CMG

2.2 구 좌표계에서 힘의 분석

그림 3의 구 좌표계는 한 점을 중심으로 원운동 하는 시스템의 운동 경로를 쉽게 계산할 수 있고 알아볼 수 있다. 시뮬레이션에 사용된 구좌표계 지름 R은 고정되어 있고 θ 와 ϕ 의 변수를 갖는다. ϕ 는 구 평면에서 x축의 양의 방향으로부터 원점 Ball Joint와 이루는 접선 단위 벡터이다. θ 는 구 평면에서 z축의 양의 방향으로부터 원점과 이루는 접선 단위 벡터이다.



〈그림 3〉 구 좌표계 속 CMG

가위쌍을 구조를 갖는 CMG 1, 2 의 토크의 합은 다음과 같다.

$$\vec{\tau}_{tot} = \vec{\tau}_{cmg1} + \vec{\tau}_{cmg2} \quad (5)$$

수식 (5) 에서 CMG 토크는 수식 (6), (7)에서와 같이 반지름 R과 힘 F로 나타낼 수 있다.

$$\vec{\tau}_{cmg1} = \frac{\vec{F}_{cmg1}}{R} \quad (6)$$

$$\vec{\tau}_{cmg2} = \frac{\vec{F}_{cmg2}}{R} \quad (7)$$

여기서 R은 반지름이다. 여기서 힘 F는 그림 3에서 x축과 구 표면이 만나는 점과 x축 수직 평면에서 벡터로 표현할 수 있다.

$$\vec{F}_{cmg1} = F_{cmg1} \sin \alpha \vec{\phi} - F_{cmg1} \cos \alpha \vec{\theta} \quad (8)$$

$$\vec{F}_{cmg2} = F_{cmg2} \sin \beta \vec{\phi} + F_{cmg2} \cos \beta \vec{\theta} \quad (9)$$

여기서 α , β 는 짐벌 모터가 움직인 각도이고 $\vec{\phi}$ 와 $\vec{\theta}$ 는 단위벡터이다. 구 표면에서 움직임을 알기위해 힘의 가속도를 속도로 나타내면 다음과 같다.

$$\int_{t_0}^t F_{cmg1} \sin \alpha dt = M \int_{v_0}^v dv \quad (10)$$

여기서 M은 이 시스템의 질량이고 v는 속도를 나타낸다. 수식 (10) 은 수식 (8)에서 $\vec{\phi}$ 만 표현한 적분 수식이다. \vec{F}_{cmg1} 의 $\vec{\theta}$, \vec{F}_{cmg2} 의 $\vec{\phi}$, $\vec{\theta}$ 적분 역시 동일하다. 이결과를 한 번 더 적분하고 구 표면에서 ϕ 와 θ 방향으로 이동한 거리는 다음과 같다.

$$x_1 = -\frac{F_{cmg1}}{M} (\sin(\alpha(t-2)) - 2\sin(\alpha(t-1)) + \sin(\alpha(t))) + (\alpha(t) - \alpha(t-1))v_{x,0} + x_{10} \quad (11)$$

$$y_1 = -\frac{F_{cmg1}}{M} (\cos(\alpha(t-2)) - 2\cos(\alpha(t-1)) + \cos(\alpha(t))) + (\alpha(t) - \alpha(t-1))v_{y,0} + y_{10} \quad (12)$$

$$x_2 = -\frac{F_{cmg2}}{M} (\sin(\beta(t-2)) - 2\sin(\beta(t-1)) + \sin(\beta(t))) + (\beta(t) - \beta(t-1))v_{x,0} + x_{20} \quad (13)$$

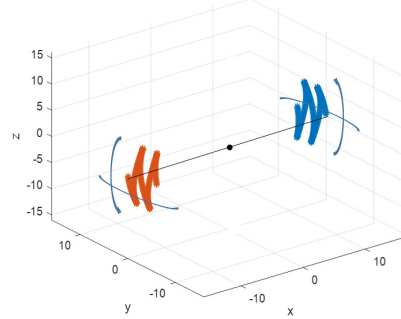
$$y_2 = -\frac{F_{cmg2}}{M} (\cos(\beta(t-2)) - 2\cos(\beta(t-1)) + \cos(\beta(t))) + (\beta(t) - \beta(t-1))v_{y,0} + y_{20} \quad (14)$$

여기서 x_1 는 $R\phi_1$, x_2 는 $R\phi_2$, y_1 는 $R\theta_1$, y_2 는 $R\theta_2$ 이다. 이 계산 값은 하나의 시스템에서 같이 움직이므로 더한다. 그리고 이 위치를 x, y, z 좌표계에 나타내는 시뮬레이션을 할 수 있다.

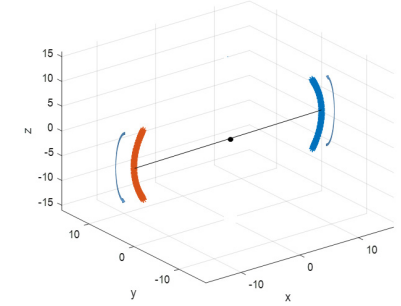
2.3 시뮬레이션

시뮬레이션은 중력이 작용하지 않는다는 가정 하에 실행하였다. 그리고 플라이휠 방향의 움직임은 $-45^\circ \sim 45^\circ$ 내로 제한하였다. 그림 4에서 CMG 1, 2의 짐벌 모터가 서로 다른 각속도로 움직이면 ϕ 방향 힘이 남아있어 그 차이에 의한 움직임이 나타나며 ϕ 와 θ 방향으로 모두 움직임을 볼 수 있다.

CMG 1, 2의 짐벌 모터가 같은 각속도로 움직이면 그림 5에서처럼 ϕ 방향 힘은 상쇄되고 θ 방향으로만 움직이는 것을 볼 수 있다. 이는 가위쌍 구조를 사용하는 이유이다. 원하지 않는 한쪽 방향의 움직임을 없애고 원하는 방향의 움직임을 2배로 증가시키는 효과를 볼 수 있기 때문이다.



〈그림 4〉 시간에 따른 짐벌 각도 변화 ($\alpha:\beta = 2:1$)



〈그림 5〉 시간에 따른 짐벌 각도 변화 ($\alpha:\beta = 1:1$)

3. 결 론

CMG는 간접 구동기로 돌림힘을 발생하는 장치이다. 본 논문에서는 돌림힘을 이용하여 선형 움직임을 생성하는 메커니즘을 구현하기 위해 동적인 움직임을 해석해 보았다. CMG 2개가 구동하는 경우에는 벡터의 합에 의해 나타나므로 움직임에 대한 분석이 필요하다. 특히 CMG의 카오스적인 움직임에서 규칙을 발견하여 이를 이용한다면 CMG를 이용한 다른 형태의 움직임 즉, 선형 움직임도 생성할 수 있을 것이다. 본 논문에서는 중력을 무시한 상태에서 시뮬레이션을 통해 서로 다른 짐벌의 각도 변화에 대한 움직임을 확인하였다. 추후에는 실제 실험을 통해 결과를 비교해 볼 필요가 있다.

〈감사의 글〉

본 연구는 연구재단의 지원(2016R1A2B2012031)에 의해 수행되었으며 이에 감사를 드립니다.

〈참 고 문 헌〉

- [1] H. Gui, G. Yukovich, and S. Xu, "Attitude tracking of a rigid spacecraft using two internal torques", *IEEE Trans. on Aerospace and Electronics Systems*, 51,(4), pp. 2900–2914, 2015.
- [2] J. H. Park and S. Jung, "Development and control of a single-wheel robot: practical mechatronics approach", 2013, *Mechatronics*, 23, pp. 594–606.
- [3] Sangdeok Lee and Seul Jung, "A compensation approach for nonlinear gimbal axis drift of a control moment gyroscope", *Mechatronics*, vol.50 pp.45–54, 2018
- [4] 김현우, 정슬, "가위쌍 구조를 갖는 소형 CMG 모듈의 제작과 실험적 검증 연구", 제어로봇시스템학회 학술대회, pp. 22–23, 2018