

공극의 시간변화를 고려한 3상 BLDC 모터의 동특성 해석

Dynamic Analysis of a 3-Phase BLDC Motor Considering Variation of an Air-gap

박기선*·임형빈*·정진태†

Kisun Park, Hyungbin Im and Jintai Chung

1. 서론

BLDC 모터의 동역학적 특성을 파악하기 위해서는 모터의 각 상에 공급되는 전자기적 가진력과 회전자의 영구자석의 위치나 형상과 같은 기계적인 특성을 연성하여 파악하는 것이 중요하다.

장진회⁽¹⁾는 맥스웰 방정식과 전압 방정식, 그리고 뉴턴 오일러 방정식에 의해 BLDC 모터를 기전 연성의 방법으로 해석하여 모터의 전기 기계적인 가진력과 응답과의 상호 관계를 파악하였다. 황상문⁽²⁾은 회전자의 동적 편심과 전자기적 불평형력을 고려하여 과도 동적 해석을 연구하였다. 그러나 회전자가 회전을 하면서 발생되어지는 진동에 의해 공극의 크기가 변화하게 되고 이로 인해 각 상에서 발생되어지는 인덕턴스의 값의 변화를 고려한 연구는 수행되지 않았다.

따라서 본 연구에서는 공극의 변화에 따른 인덕턴스의 값의 변화가 회전자의 진동에 어떠한 영향을 미치는지에 대하여 고찰한다. 우선 참고 문헌⁽³⁾을 통하여 3상 8극 BLDC 모터의 전자기적 특성을 확인하였다. 이러한 전자기적 특성과 회전자가 기계적으로 진동하였을 때의 특성을 연성하여 비선형 지배 방정식을 유도하였다. 그리고 Newmark 방법을 이용하여 시간에 따른 회전자의 진동을 확인하였다. 공극의 변화를 고려하였을 때와 고려하지 않았을 때의 회전자의 진동을 비교해 봄으로써 공극의 변화가 회전자의 진동에 미치는 영향을 확인해 보았다.

2. 3상 BLDC 모터의 운동방정식

3상 BLDC 모터와 회전자의 개략도를 Fig.1에 나타내었다. as, bs, cs 축에 상전류에 의해 기자력(Magnetic-motive force)이 생성되어지게 된다. 회전자의 도심을 C, 무게중심을 G 라고 가정하였고,

도심으로부터 무게중심까지의 거리를 e 라고 정의하였다. θ_{rm} 은 회전자의 기계적 각변위를 나타낸다. 회전자의 질량을 m , 질량관성모멘트를 J 라고 정의하였다. 운동에너지와 위치에너지, 전류와 PM에 의한 자기에너지를 구하여 라그랑지 방정식을 이용하여 BLDC 모터의 기전 연성된 6개의 비선형 방정식을 구하였다.

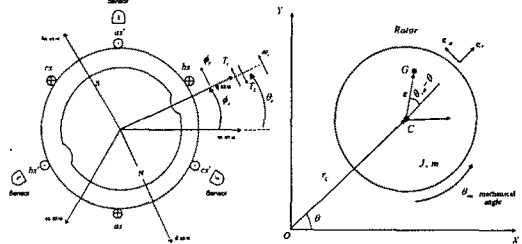


Fig.1 Three-phase permanent-magnet Synchronous machine and Mathematical modeling of rotor

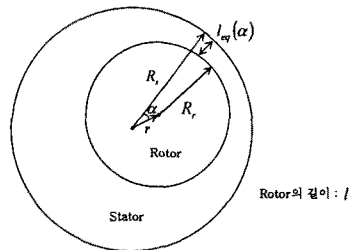


Fig.2 Position of rotor for vibration

3. 회전자의 위치에 따른 인덕턴스

Fig.2 에서와 같이 회전자가 진동을 하여 위치가 변한다고 가정하였을 때 공극의 길이는 다음과 같이 정의 된다.

$$l_{eq}(\alpha) = g + l_m = R_s - R_r + l_m - r \cos(\alpha) = g_0 - r \cos(\alpha)$$

$$dA = R_s l d\alpha$$

(3-1)

따라서, 공극의 길이가 식(3-1)과 같이 변한다고 정의하였을 때 암페어의 법칙(Ampere's law)에 의

† 교신저자; 정회원, 한양대학교 기계공학과
E-mail : jchung@hanyang.ac.kr
Tel : (031) 400-5287, Fax : (031) 406-6964
* 한양대학교 대학원 기계공학과

해서 전체자속과 인덕턴스를 정의할 수 있다.

4. PWM 입력에 따른 비선형 방정식의 시간응답

앞 절에서 구한 6 개의 비선형 방정식의 시간응답을 Newmark 방법을 이용하여 구할 수 있다. 입력전압은 PWM 방식으로 구형과 상전류가 전기적으로 180°씩 순차적으로 유지되도록 하였다.

Fig.3 은 입력전압과 비선형 방정식을 이용하여 시간응답을 1 초까지 구한 결과값이다. 결과에서 보면 회전 속도가 정상상태인 410rpm 까지 접근하기 위해서는 약 0.1 초의 시간이 걸림을 알 수 있다.

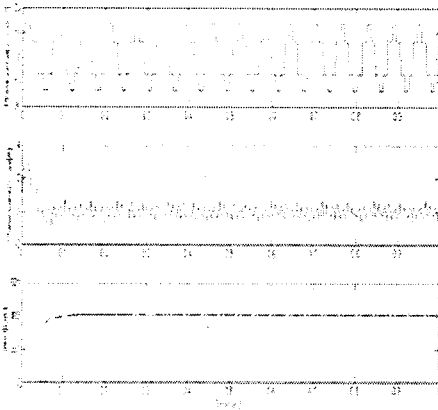


Fig.3 Simulated time response of BLDC motor

Fig.4 와 Fig.5 는 각각 회전자의 진동으로 인해 공극의 크기가 변화하게 되는데 이때에 공극의 크기 변화로 인해 달라진 인덕턴스의 값을 고려했을 때와 고려하지 않았을 때의 회전자의 변위와 인덕턴스의 값을 나타낸다.

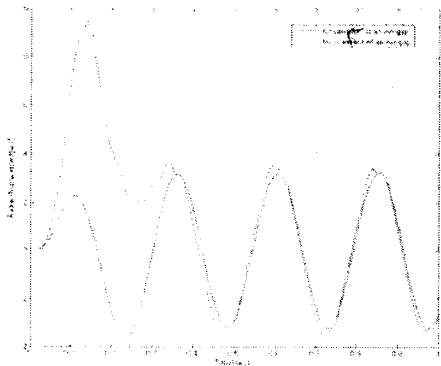


Fig.4 Simulated result of radial displacement for variation of an Air-gap compare with constant Air-gap

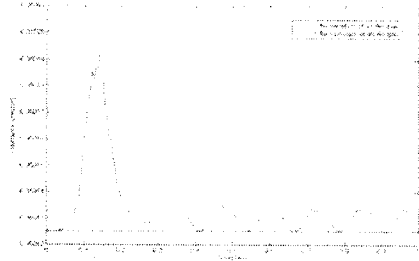


Fig.5 Simulated result of inductance for variation of an Air-gap compare with constant Air-gap

5. 결 론

본 연구에서는 3 상 8 극 BLDC 모터에 대해 공극의 크기 변화에 따른 인덕턴스의 값의 변화가 회전자의 동특성에 어떠한 영향을 미치는 가에 대해 연구하였다. 결과 값에서 볼 수 있듯이 공극의 변화를 고려하였을 때에는 초기 과도응답구간에서 큰 진동이 발생하였다. 또한, 정상상태에서도 공극의 변화를 고려하지 않았을 경우 정현파의 형태로 진동이 발생하였지만, 공극의 변화를 고려하였을 경우 인덕턴스의 변화로 인해 진동특성에 차이가 나는 것을 확인할 수 있었다. 모터의 초기 구동 시 회전자의 회전속도가 약 0.1 초 구간에서 정상상태에 이르게 되는데 그 구간에서 회전자가 크게 진동하는 현상을 확인해 볼 수 있었다. 또한, 모터의 구동 시에 회전자의 진동특성이 정확한 정현파로 나오는 것은 불가능하기 때문에 공극의 변화에 따른 인덕턴스의 변화를 고려하여 수학적 모델링을 하는 것이 더 정확하다고 판단할 수 있다.

후 기

이 논문은 2008 년도 2 단계 두뇌한국 21 사업에 의하여 지원되었습니다. 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- (1) Jang, G. H. and Chang, J. H., 2002, " Finite-Element Analysis of an Electromechanical Field of a BLDC Motor Considering Speed Control and Mechanical Flexibility" , IEEE Trans. On Magnetics, Vol.38, No.2, pp.945~948.
- (2) Kim, T. J. and Hwang, S. M., 2000, " Transient Dynamic Analysis of a Dynamic Eccentric Rotor with Unbalanced Magnetic Forces in BLDC Motors" , Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol.10, No.3, pp. 401-409.
- (3) Paul C. Krause and Oleg Wasynczuk, 1989, " Electromechanical Motion Devices."