

Limeted angle torque motor의 전자기 과도해석 및 실험 결과의 비교

김용훈*, 권순오*, 이수웅*, 장승교**, 김영복***
 한국생산기술연구원, 국방과학연구소**, (주)엘씨텍***

A comparison of transient electromagnetic analysis and experiment result of Limeted angle torque motor

Yong-Hoon Kim*, Soon-O Kwon*, Suwoong Lee*, Seung-Gyo Jang**, Young-Bok Kim***
 Korea Institute of Industrial Technology*, Agency for Defense Development**, LC-TEK Co., Ltd.***

Abstract - This paper present a transient experiment to verify the performance of limited angle torque motor(LATM) designed using electromagnetic transient analysis.

LATM requires access to the transitional state to the torque performance evaluation. Because LATM moves the rotor using a magnetic torque generated by the interaction of the permanent magnet and the armature winding. A separate control is not applied, it is switched on at the same time under the conditions that the current applied to the armature winding.

It was compared to the transient analysis of the experimental data of LATM for the verification of approach method in the transitional state.

1. 서 론

Limited angle torque motor(LATM)는 제한된 각도의 토크를 제공하는 전자기 액츄에이터로서 전기에너지를 회전운동으로 변환시키며 고정자 코어, 전자기 코일, 회전자로 구성되고 브러쉬나, 커뮤테이터, 위치센서가 없이 간단한 구조와 높은 신뢰성으로 인해 우주항공분야의 스캐너, 서보 밸브, 안테나, 로봇 구동 등에 널리 사용된다[1].

대상 액츄에이터는 유도탄의 격발기를 기동하는 용도로서 높은 신뢰성을 요구 한다. 회전력을 얻기 위해 일반적으로 DC 전동기나 BLDC 전동기를 적용 할 수 있지만, DC 전동기의 경우 브러쉬와 커뮤테이터, BLDC 전동기의 경우 홀센서 및 3상 전력 변환 회로가 필요하므로 LATM에 비해 보수 유지 및 고장의 요인 수 관점에서 상대적으로 신뢰성이 떨어진다. LATM의 회전자는 소형화를 위한 조립이 용이하고 회전자의 기계적 강성이 우수한 Ring type 영구자석을 적용하였다.

LATM은 시간에 따라서 일정한 속도로 동작하는 것이 아닌 전류 입력 시점부터 최종 동작 상태까지의 속도가 변화하므로 과도상태 전자기 해석을 하였다. 또한 전자기 과도 해석 결과를 확인하기 위하여 과도상태에 대한 실험을 진행하여 해석 결과와 비교하였다.

2. 본 론

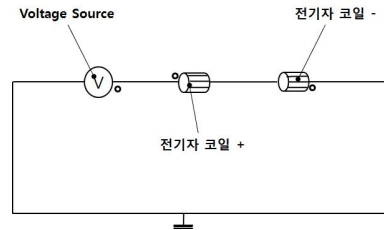
2.1 LATM의 전자기 과도 해석

과도상태 전자기 해석을 위한 FEA 모델링을 그림 1에 나타내었다. 해석 대상의 주기성과 대칭성을 이용하여 1/2 모델링을 하였다. 해석 영역 전체를 모델링한 경우에 비해 해석 시간을 절반 이하로 줄일 수 있어 대칭성과 주기성을 갖는 전동기/발전기의 전자기 해석에서 일반적으로 적용되며, 해석 결과는 전체를 모델링 한 경우와 동일하다. 최적 설계 단계에서는 많은 전자기 해석을 수행해야 하므로 최소 주기를 갖는 모델링은 필수적이다.

그림 2는 과도상태 해석을 위한 외부회로를 나타낸다. 외부 회로에서는 전압 설정, FEA 모델과 전기 회로의 연결을 위한 코일 모델을 포함한다.



<그림 1> FEA 모델링(1/2 model)



<그림 2> 외부 회로

표 1은 과도상태 해석 조건을 나타낸다. 최적 설계를 위한 다양한 형상 치수의 모델에 대해 동일한 조건에서 해석을 수행하였다. 회전자의 관성 모멘트는 샤프트에 연결되는 구조물의 관성 모멘트를 포함한 값이다.

<표 1> 과도상태 해석 조건

항목	값
코어의 저항률 (ohm/m)	0.25×10^{-6}
축방향 길이(mm)	6.2
관성 모멘트($g \cdot mm^2$)	470
Time step(ms)	0.5
end time(sec.)	0.1
최대 변위(deg.)	180

2.2 LATM의 과도 상태 성능 시험

LATM의 축에서 발생하는 토크(T_{total})는 식(1)과 같이 부하 토크(T_L)와 가속 토크(T_A)의 합으로 나타낼 수 있다. 가속 토크는 관성 모멘트(J)와 각 가속도로 나타낼 수 있으며, LATM의 시험 조건에서 부하 토크 T_L 은 0 이므로 발생 토크는 최종적으로 식 (3)과 같이 관성 모멘트와 가속 토크로 나타낼 수 있다.

$$T_{total} = T_L + T_A \quad (8)$$

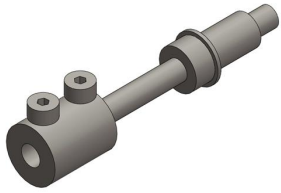
$$= T_L + \bar{J} \frac{d\omega}{dt} \quad (9)$$

$$= \bar{J} \alpha \quad (10)$$

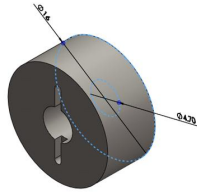
T_{total} 축토크 ω 각속도 T_L 부하 시 토크 \bar{J} 관성 모멘트 T_A 가속 토크 α 각가속도

시간에 따른 위치 정보로부터 정확한 토크를 산정하기 위해서는 정확한 관성 모멘트 산정이 필수적이다. 정확한 관성모멘트를 얻기 위해서는 실험적으로 측정하는 것이 필요하지만, 구조의 복잡성으로 인해 계산이 어려워 상용 프로그램인 Solidworks을 이용하여 관성 모멘트를 산정하였다.

그림 3-4는 관성 모멘트 산정을 위해 모델링한 3D 모델을 나타낸다. 정확한 값을 산정하기 위해 샤프트, 커플링, 회전자의 상세한 형상을 그대로 모델링 하였다. 그러나 포텐서 미터의 관성 모멘트 및 friction torque는 제조사의 카탈로그를 인용하였으며 friction torque 값은 범위로 주어져 정확한 값을 찾기에 어려움이 있다. 또한 포텐서 미터를 무부하 회전 시, 회전자 위치에 따라 미세한 토크 리플이 확인 되고, 이 또한 오차의 요인으로 작용한다.



〈그림 3〉 샤프트+커플링의 구조

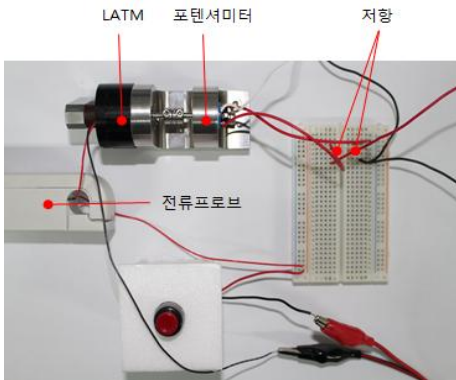


〈그림 4〉 회전자의 구조

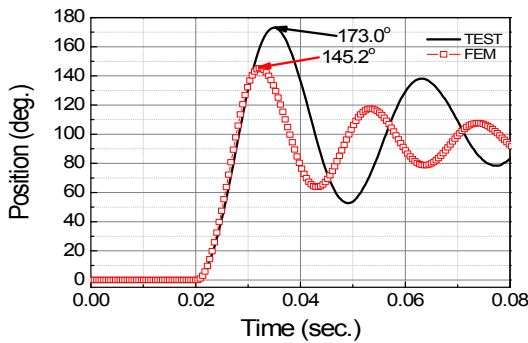
〈표 2〉 LATM 및 시험 장치 각부의 관성 모멘트

항목	최적화 모델
샤프트+커플링 (g·mm ²)	46.81
회전자 (g·mm ²)	372.89
포텐서 미터 (g·mm ²)	50
총합 (g·mm ²)	470

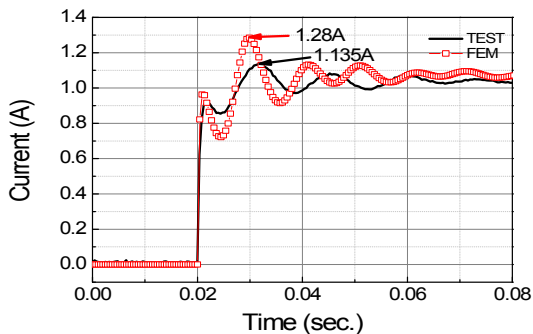
LATM의 과도 상태 토크 측정을 위한 시험 장치의 전체 구성은 그림 5와 같다. LATM을 포텐서 미터와 커플링을 통해 기계적으로 연결하였다. LATM은 스위치, 전원과 연결되고, 전류 프로브를 연결하였다. 포텐서 미터 쪽은 2개의 저항을 ±양단에 각각 연결하고, 위치에 따른 전압 측정용 프로브를 연결하여 시간에 따른 전압과 전류를 측정 한다.



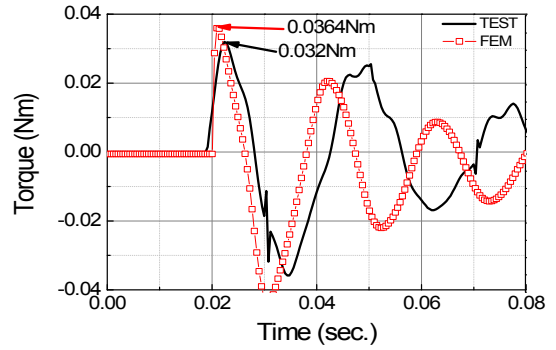
〈그림 5〉 과도상태 시험 장치 구성



〈그림 6〉 회전자 위치



〈그림 7〉 입력 전류



〈그림 8〉 토크

그림 6-8은 최적화 모델의 시간에 따른 회전자의 위치, 전류, 계산된 토크를 나타낸다. 시간에 따른 위치 정보와 전류는 큰 오차를 나타내지만 최대 토크의 크기와 위치, 전류의 맥동 파형은 추이는 유사하다고 할 수 있으며 불확실한 요소(포텐서 미터의 관성 모멘트 및 friction 토크, 노이즈)를 제거한다면, 보다 정밀한 토크 산정이 가능 할 것으로 판단된다.

〈표 3〉 최적화 모델의 FEA 결과와 시험 결과 비교

구분	시험 결과	FEA
최대 변위 (deg.)	173.0	145.2
최대 전류(A)	1.135	1.28
최대 토크(Nm)	0.0320	0.0364

동적 토크의 경우 불확실 요소, 즉 포텐서 미터의 마찰토크/토크리플, 관성 모멘트가 주요 원인으로 판단된다. 불확실 요소의 해석 반영이 어려우므로 이를 배제한 시험 방법 연구가 필요하다.

3. 결 론

본 논문에서는 실제 동작 상태에서의 LATM의 토크를 간접적으로 확인 할 수 있는 과도상태 시험 방법을 제안하고 시험을 통해 타당성을 확인하였다. 포텐서미터를 이용하여 시간에 따른 회전자의 위치와 관성 모멘트로부터 토크를 간접적으로 산정하였으며, 최대 토크의 크기와 위치, 전류의 맥동 파형의 추이가 유사하게 나타나는 것을 확인하였다. 불확실한 요소(포텐서 미터의 기계 파라미터)로 인해 시험 결과와 해석 결과 간에 정밀도가 다소 떨어지는 현상이 있었으며 정밀도를 높이기 위해 불확실한 요소를 제거하거나 명확히 할 수 있는 시험 장치가 필요로 한다.

[참 고 문 헌]

- [1] 권순오 외 4명, "Limited Angle Torque Motor의 과도상태 특성 해석에 관한 연구", 대한전기학회, 842-843, 2014. 7.
- [2] Murali Krishna et al., "Brushless DC limited angle torque motor, Proceedings of the International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems for Industrial Growth, Jan. 1996
- [3] Nicola Bianchi, et al., "Design, Analysis, And Control of Interior PM Synchronous Machines", Tutorial course notes, IEEE IAS 2004
- [4] Ji-Young Lee, et al., "Determination of Parameters considering Magnetic Nonlinearity in an Interior Permanent Magnet Synchronous Motor", IEEE Trans. on Magnetics, April 2006.
- [5] Reza Nasiri Zarandi, et. al., "Comprehensive Design of a Toroidally-Wound Limited Angle Torque Motor", International Review of Electrical Engineering (I.R.E.E.), Vol. 6, N. 1, Jan.-Feb. 2011.
- [6] Zou Jibin, et. al., "Development of a Slotless Limited-Angle Torque Motor for Reaction Wheels Torque Measurement System", IEEE Trans. on Magnetics, Nov. 2014.