

# 자기장 병목현상 해소를 통한 전자 클러치의 성능향상에 관한 연구

김신호\*(창원대 대학원 제어계측공학과), 정태휘(창원대 대학원 제어계측공학과),  
김기수(동명중공업), 조종선#(교신저자, 창원대 제어계측공학과)

## A Study on Improving Performance of an Electromagnetic Clutch through Cancellation of Magnetic Flux Bottlenecks

S. H. Kim, T. W. J(Dept. of Con. and Ins., graduate school of Changwon University),  
K. S. Kim(Tongmyoung Heavy Industries, Co., Ltd), J. S. Joh(Dept. of Con. and Ins., Changwon University)

### ABSTRACT

This paper presents a method of improving performance of an electromagnetic clutch for the next generation tank gun. One of the most important things in the design of the clutch is to satisfy the requirement for the maximum torque even if the torque is varied. To achieve this requirement, it is needed to expand the operation range of the torque. Consequently, we have performed shape changes in order to cancel magnetic flux bottlenecks on the magnetic path. Simulation results from the finite element method show that the method proposed in this paper is proper for the clutch.

**Key Words** : Electromagnetic Clutch (전자 클러치), Magnetic Flux Bottleneck (자기장 병목현상),  
Shape Change(형상변경), Finite Element Method (유한요소법)

### 1. 서론

전차는 주행 중에 포가 자연물이나 구조물과 충돌이 일어날 수 있는 상황에서 신속히 구동원으로부터 공급되는 동력을 차단시켜 충격을 피해야 하므로 고 토크에서도 응답할 수 있는 고성능 전자 클러치가 반드시 필요하다. 또한 요구되는 최대토크가 다른 시스템에서도 적용될 수 있도록 전자 클러치의 운용범위를 확장할 수 있어야 한다. 본 논문에서는 이러한 요구조건을 만족하기 위해서 차세대 전자에 가장 적합한 마찰클러치가 채택되었다.<sup>1</sup>

전자 클러치의 연구는 자기장이 비선형적으로 형성되며 그것에 의한 힘은 자기경로의 형상에 의해 결정되기 때문에 주로 유한요소법을 이용하여 행해져 왔으며 전자 클러치와 같이 전기적, 자기적 그리고 기계적인 요소가 서로 연동되는 전기기기를 해석하기 위해서는 올바른 자기장 해석방법이 필요하다.<sup>1-6</sup> 본 논문에서 대상으로 하는 전자 클러치의 경우 2D 축대칭 모델, 미약한 연동 그리고 정자계

해석으로 정의할 수 있다.<sup>1</sup> 또한 몇몇의 연구에서는 대상 시스템의 설계변수를 제시하기도 하였으며 동특성 방정식을 이용하여 해석의 타당성을 입증하기도 하였다.<sup>1-3</sup>

그러나 이러한 연구에서는 성능을 개선하기 위한 방법에 대해서는 다루지 않았다. 본 논문에서는 유한요소법을 이용하여 기존 모델에서 자기장 병목현상이 일어나는 부분을 파악하고 병목현상을 해소하기 위한 파라미터를 선정하였다. 그 결과로부터 형상을 변경함으로써 전자 클러치의 성능을 향상시킬 수 있었다.

### 2. 기존 전자 클러치 모델의 유한요소해석

#### 2.1 전자 클러치의 동작원리

Fig. 1 과 Table 1 에 본 논문에서 대상으로 하는 전자 클러치의 단면도와 주요부위 명칭을 각각 나타내었다. 샤프트, 플레이트 그리고 플렌지는 구동축과 함께 회전하며 라이닝은 피동축과 함께 회전

한다. 인가되는 전류가 없고 자기장이 형성되지 않은 상태에서는 스프링에 의해서 라이닝이 플레이트와 플렌지 사이에 밀착되어 구동축의 토크를 피동축으로 전달한다. 전류를 인가하게 되면 그에 따른 자기장이 형성되어 플레이트와 샤프트 사이에는 인력이 발생한다. 인가하는 전류의 양을 조절함으로써 전달되는 토크의 크기를 감소시키거나 완전히 차단할 수 있다. 전달되는 토크의 크기를 증가시키는 순서는 감소시키는 순서와 반대이다.

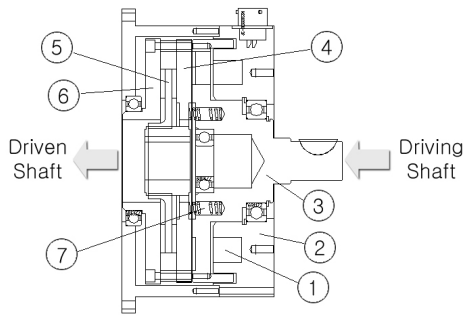


Fig. 1 The cross-sectional view of the EM clutch

Table 1 Names of the principal parts

Number	Names
1	Coil
2	Magnet ASS'Y
3	Shaft
4	Plate
5	Lining
6	Flange
7	Spring

## 2.2 유한요소해석

샤프트(Shaft), 플레이트(Plate) 그리고 마그넷 조립체(Magnet ASS'Y)는 모두 동일한 재질로 이루어졌으며 사용된 재질에 대한 B-H 특성곡선은 Fig.2

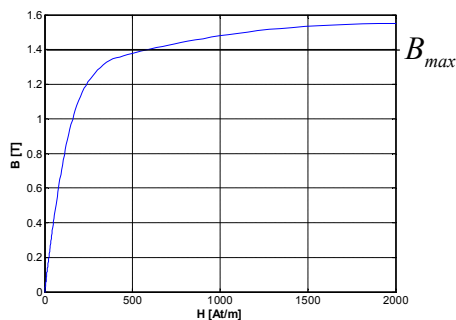


Fig. 2 The B-H characteristic curve of the material

에 나타내었다.

앞서 언급했듯이, 본 논문에서 대상으로 하는 전자 클러치의 해석방법은 2D 축대칭 모델, 미약한 연동 그리고 정자계 해석이었으며 Fig.3은 기존 모델의 유한요소해석을 위한 요소분할 결과를 보여준다. 관심의 대상이 되는 주 자기경로상의 공극주변은 분할빈도를 높였고 자기장이 전자 클러치와 인접한 전차내의 다른 장치에 미치는 영향을 고려하기 위하여 자유경계조건이 부여되었다.

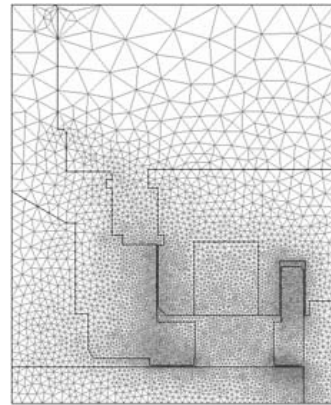


Fig. 3 The mesh model of the original model

Fig. 4에는 MMF가 600[At]일 때 기존 모델에 대한 유한요소해석 결과를 나타내었다. 전자 클러치가 다른 장치에 미칠 수 있는 자기장의 영향은 무시할 수 있었으며 주 자기경로 상에 발생하는 병목현상과 이와 관련된 파라미터를 보여주고 있다.

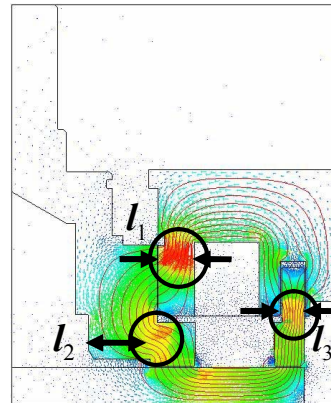


Fig. 4 Result from the finite element method of the original model at  $F_{mmf}=600[At]$

자기장에 의한 인력의 크기는 식 (1)과 같이 나타내어질 수 있으며, 자기장에 의한 인력의 크기는 공급자속밀도의 제곱에 비례하므로 인력을 크게 하여 전자 클러치의 성능을 향상시키기 위해서는 총

분한 공극자속밀도의 확보가 필요하다.

$$F = \frac{B^2 A}{2\mu_0} \quad (1)$$

여기서  $F$  는 플레이트와 샤프트 사이의 인력,  $B$  는 공극자속밀도,  $A$  는 공극의 단면적 그리고  $\mu_0$  는 공극의 투자율이다. 이러한 병목현상들은 전자 클러치에 가해지는 MMF(Magneto-Motive Force)를 증가시킴에 따라 다른 부분들 보다 먼저 자기장의 포화가 발생함을 의미하며, 일어나는 정도에 따라 최대 공극자속밀도의 한계를 결정짓는 중요한 요소가 된다.

### 3. 전자 클러치의 형상변경

#### 3.1 형상을 변경하는 기준

병목현상과 관련된 형상을 변경할 때는 MMF의 가변범위가 수정된 모델의 자기경로에 위치한 자성체의 최대자속밀도를 B-H 특성곡선의 선형영역 이내( $B_{max}$  이하)로 유지할 수 있어야 한다. 또 다른 기준은 MMF의 가변범위가 허용되는 형상의 변경범위 내에서 요구되는 인력이 얻어질 수 있어야 한다. 본 논문에서는 토크의 증가분은 요구되지 않았으므로 기존 모델과 수정된 모델간의 Force를 비교하여 나타내었다.

#### 3.2 형상변경(Heuristic Approach)

본 논문에서 대상으로 하는 전자 클러치의 경우 각각의 병목현상이 직렬자기경로상에 위치하고 있음으로 인해 Fig. 4에 나타낸 3개의 파라미터  $I_1$ ,  $I_2$  그리고  $I_3$  중 어느 하나만의 변경은 오히려 다른 두 곳에서의 포화를 가중시켰다. 그 결과 두 개 이상의 파라미터를 동시에 변경하였다.

Fig. 5, Fig. 6 그리고 Fig. 7는 MMF가 700[At]일 때 기존 모델, 수정된 모델 1과 수정된 모델 2의 자속밀도를 각각 보여준다.

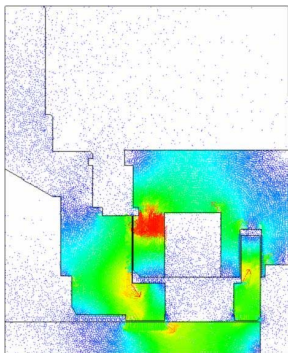


Fig. 5 Result from the finite element method of original model at  $F_{mmf}=700[At]$

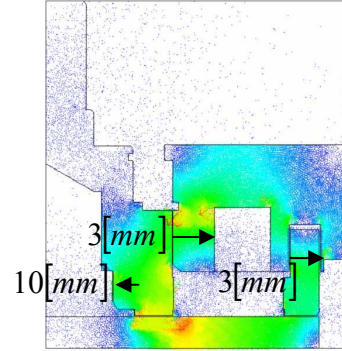


Fig. 6 Result from the finite element method of modified model #1 at  $F_{mmf}=700[At]$

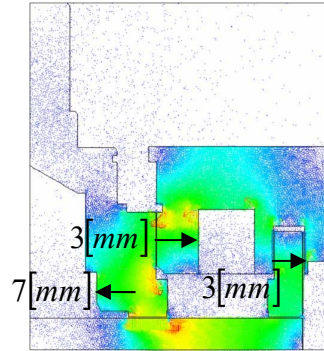


Fig. 7 Result from the finite element method of modified model #2 at  $F_{mmf}=700[At]$

#### 3.3 형상변경 결과

Fig. 8, Fig. 9 그리고 Fig. 10에는 MMF가 700[At]일 때 기존 모델, 수정된 모델 1 그리고 수정된 모델 2의 최대자속밀도 분포를 각각 나타내었다. 최대자속밀도가 나타나는 곳은 기존 모델의 경우  $I_1$  부근이었으며, 수정된 모델 1과 수정된 모델 2의 경우  $I_2$  부근이었다.

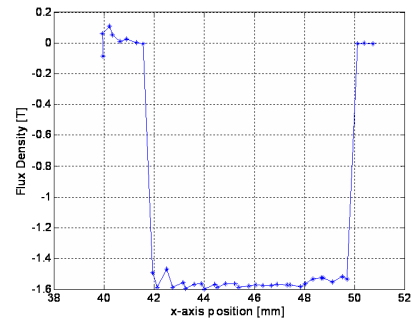


Fig. 8 The highest flux density of original model at  $F_{mmf}=700[At]$

Fig. 11은 기존 모델과 수정된 모델들과의 MMF 변화에 따른 인력의 크기를 비교한 것을 보여준다.

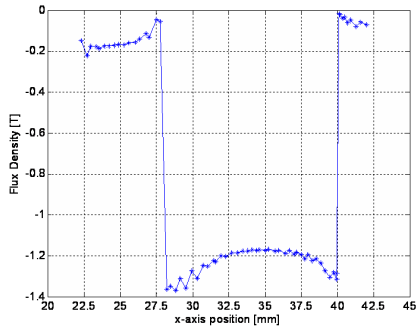


Fig. 9 The highest flux density of modified model #1 at  $F_{mmf}=700[At]$

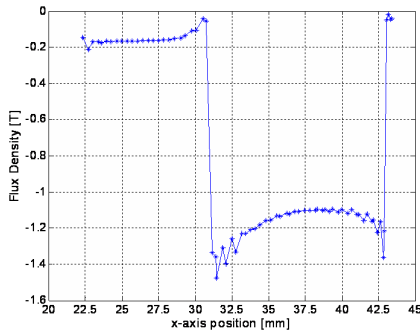


Fig. 10 The highest flux density of modified model #2 at  $F_{mmf}=700[At]$

기존 모델의 경우, MMF 가 600[At]이상에서 시플레이션을 통한 인력의 크기가 얻어졌다 하더라도 Fig. 8 에서 보여지듯이 자기장 포화로 인해 전자 클러치를 운용할 수 없는 범위이다. 반면, 수정된 모델 1 과 수정된 모델 2 의 경우, Fig. 9 와 Fig. 10 에서 보여지듯이 700[At]의 MMF 를 가하여도 자속밀도를 선형영역 이내로 둘 수 있었으며, 기존 모델에 600[At]의 MMF 를 가하였을 때 발생하는 인력 1550[N]에 비해 33.55%, 40.26%가 증가한 약 2070[N], 2174[N]의 인력을 각각 얻을 수 있었다.

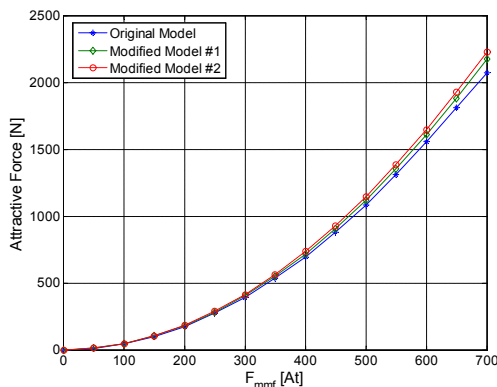


Fig. 11 Comparison of variation of the force w.r.t.  $F_{mmf}$

#### 4. 결론

본 논문에서는 자기장 병목현상 해소를 통한 전자 클러치의 성능향상에 관한 연구를 하였다. 유한 요소해석으로부터 기존 모델의 직렬 자기경로 상에 위치한 자기장 병목현상을 확인하였고 관련된 파라미터를 선정하여 기존 모델의 형상을 변경시켰으며, 수정된 모델들의 성능이 기존 모델보다 약 40% 정도까지 증가되었음을 보였다. 본 논문에서 제시한 방법을 이용하여 약간의 형상의 변경만으로도 요구되는 최대토크를 만족하는 전자 클러치를 설계할 수 있을 것으로 기대된다.

향후 연구에서는, 형상변경 방법으로서 Heuristic Approach 가 아닌 최적화 기법의 도입은 최대토크가 서로 다른 시스템에 대해서도 빠르고 정확한 설계변경이 가능해지는데 기여하게 될 것이다.

#### 후 기

본 연구는 과학기술부 한국과학재단지정 창원대학교 공작기계기술연구센터의 지원에 의한 것입니다.

#### 참고문헌

1. Kim, S.H., Joung, T.W., and Joh, J.S., "Design of High Performance Electromagnetic Clutch," SICE Annual Conference , pp. 3853 - 3858, 2005.
2. Anzizo, F., Canova, A., Leonard P.J., Ottella, M. and Rodger, D., "FE analysis and design of electrical devices for automotive applications", IEE, Power Electronics, Machines, and Drives, International Conference on, pp. 159-164, June 2002
3. Mikheail-Boules, N., "Design analysis of electromagnetic particle clutch", Industry Applications Society Annual Meeting, Conference Record of the 1994 IEEE, vol. 1, pp. 357-360, 1994
4. Canova, A., Ottella, M. and Hill-Cottingham, R.J., "3D Eddy Current FE Analysis of Electromechanical Devices", COMPEL, vol. 20, no. 2, pp. 332-347, 2001
5. Leonard, P.J, Rodger, D., Lai, H.C., Norton, M. and Hill-Cottingham, R.J., "Coupling FE with power electronics and rotor dynamics of motors", IEE Seminar on, Current Trends in the Use of Finite Elements (FE) in Electromechanical Design and Analysis (Ref. No. 2000/013), pp. 6/1-6/6, Jan. 2000
6. Canova A., Gruosso G., Ottella M., 2000, "Analysis of Dynamic Behaviour of DC Electromagnetic Relay by 3D Finite Element Method", COMPEL, vol. 19, no. 2, pp. 602-607, 2000