

유한요소법과 반응표면법을 이용한 터널액추에이터의 최적설계

고형환*, 김창업*, 문호영*, 김홍중**
 호서대학교 전기공학과*, 성진로알모션**

Optimum Design of Tunnel Actuator using Finite Element Method and Response Surface Method

Hyoung-Hwan Ko*, Chang-Eob Kim*, Ho-Young Mun*, Hyoung-Joong Kim**
 Department of Electrical Engineering, Hoseo University*, Sungjin Royal Motion Co. Ltd**

Abstract - 본 논문에서는 기존의 리니어모터와 터널 액추에이터의 장 단점을 비교하였다. 성능 향상을 위한 최적화 설계방법에 대한 연구 방법을 제시하고, 3D 유한요소법과 반응표면법을 이용하여 터널 액추에이터의 추력이 최대가 되는 최적설계를 하였다.

1. 서 론

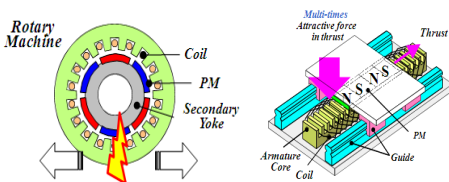
산업이 발전함에 따라 스텔링 엔진, 컴프레서, 섬유기기, 능동제어, 초정밀 위치제어와 같이 짧은 스트로크의 리니어 왕복운동 시스템이 광범위하게 응용되고 있다. 따라서 구동력 발생장치로 리니어 왕복 구동용 액추에이터가 반드시 필요하며, 최근 구동개념 및 종류, 방법이 다양하게 국내외적으로 응용 개발되고 있다[1].

본 논문에서는 일본 히타치연구소에서 개발한 TA(Tunnel Actuator)를 기존의 리니어 모터와 비교하고, 액추에이터 철심의 최적 형상을 제시한다. 최적화 방법으로 유한요소법과 반응표면법을 사용하였다.

2. 본 론

2.1 선형전동기의 구동원리 및 개요

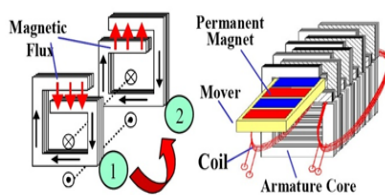
선형전동기는 그림<1>과 같이 일반 회전형 전동기를 축방향(그림의 화살표 방향)으로 잘라서 펼쳐놓은 형태이다. 기존의 일반 전동기가 회전형의 운동력을 발생시키는 것에 비해 직선방향으로 미는 힘인 추력을 발생시키는 점이 다르나, 그 전자기적인 구동원리는 근본적으로 같다. 회전형 전동기의 공극은 회전축을 중심으로 대칭이기 때문에 문제가 되지 않았던 수직력(흡인력)이 선형전동기에서는 자석이나, 바퀴 등의 지지안내 장치에 크게 작용하여 부하의 중량이 증가하는 문제점이 나타난다.



<그림 1> 선형전동기의 개념도 및 원리

2.2 Tunnel Actuator(TA)

기존 리니어 모터의 자기 흡인력을 개선하기 위한 양측식의 경우 구조가 복잡하고 가동자가 무겁다. Coreless형의 경우 철심이 없는 관계로 추진력이 적고, 열이 많이 발생한다는 단점이 있다. 자기 흡인력의 문제점을 해결하기 위하여 새로운 형태의 철심구조를 가지는 TA를 설계한다[2].



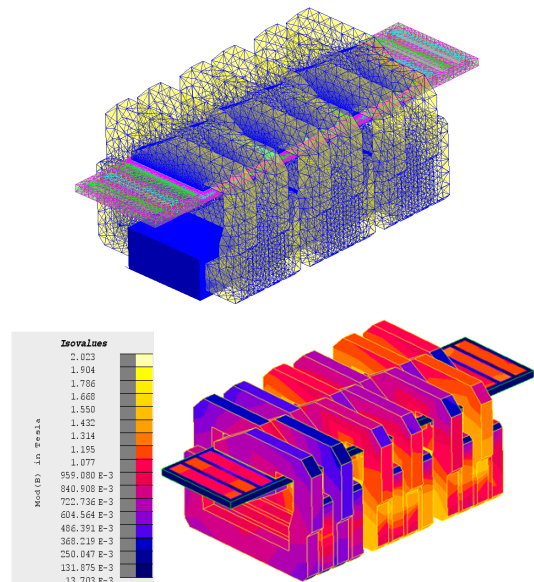
<그림 2> Tunnel Actuator의 기본원리

터널 액추에이터는 영구자석으로부터 구성되는 판형상의 가동자가 상

하로부터의 자극에 둘러 싸여지고, 자속의 “터널” 안을 간단한 지지 구조로 왕복 운동하는 구조이다. 즉 자기 흡인력을 상쇄 할 수 있다. 이것에 의해, 가동자와 장치를 유지하는 구조가 간소화되어 콤팩트화와 경량화가 실현 가능하다. 상하의 자극 치 사이에 자속이 흐름으로써 자속 누설이 적고, 효율적으로 구동함으로써 큰 추력과 가속도를 실현할 수 있다.

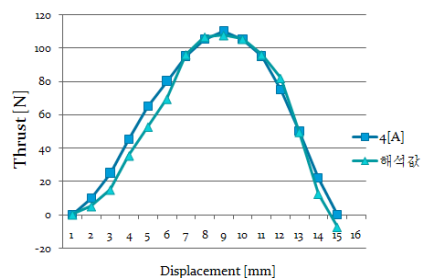
2.3 TA의 3D유한요소해석

그림<3>은 TA의 3차원 요소 분할도와 자속 분포도를 나타낸 것이다. 에너지 밀도가 높은 가동자와 철심사이의 공극을 세밀하게 요소분할하고, 요소의 수는 45만개 내외이다.



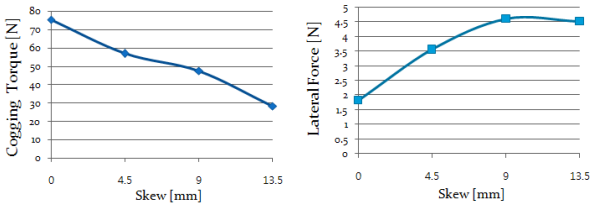
<그림 3> 요소 분할도와 자속 분포도

그림<4>는 TA의 기본 형상에 4[A] 인가 시 추력의 실험치를 나타내고, 3D 유한요소 프로그램을 통한 추력 특성을 해석치와 비교하여 나타낸 것이다. 실험치의 최대값은 110[N]이며 3D 유한요소법으로 해석한 추력의 최대값은 107.62[N]으로 나타났다. 3D 유한요소법 해석 결과, 변위에 따른 추력 특성이 실험치와 유사하게 나타나는 것을 확인할 수 있다.



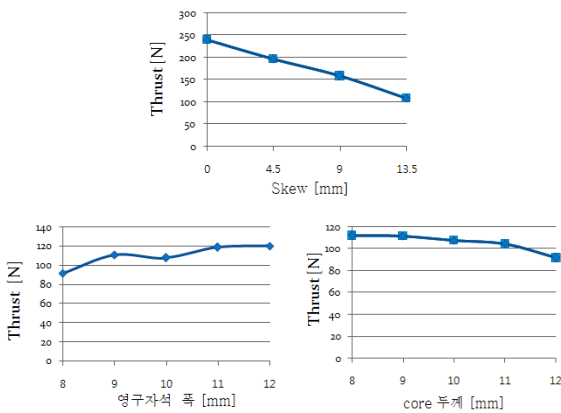
<그림 4> 추력 특성

그림<5>는 영구자석의 skew에 따른 코깅토크의 특성과 횡력(lateral force)의 특성을 나타낸다. 코깅토크는 기동시 및 저속 운전시 진동에 영향을 주게 되고, 정격운전 시에는 토크리플에 코깅토크 성분이 영향을 준다. skew의 거리에 따라 횡력이 발생하여 가동자와 LM 가이드 사이에 마찰력으로 작용하여 모터의 제반 특성을 저하시키기 원인이 때문에 모터 설계 시 저감시키는 것이 유리하다.



<그림 5> skew에 따른 코깅 토크 및 횡력

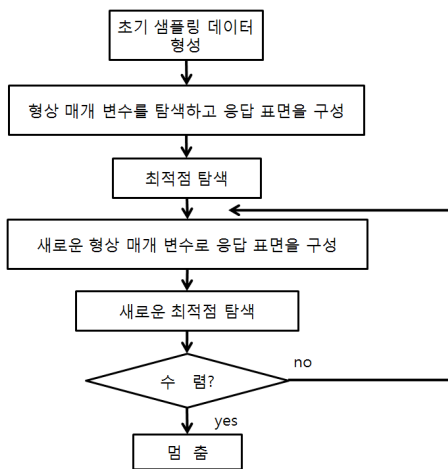
그림<6>는 TA 형상 각각의 설계 변수에 따른 최대 추력 특성의 변화를 나타낸다. skew의 거리에 따라 최대 추력이 떨어지는 것을 확인하였고, 철심의 두께 및 영구자석 폭의 변화에 따라 모터의 추력특성이 변화하는 것을 확인 할 수 있다.



<그림 6> 설계 변수에 따른 추력 특성

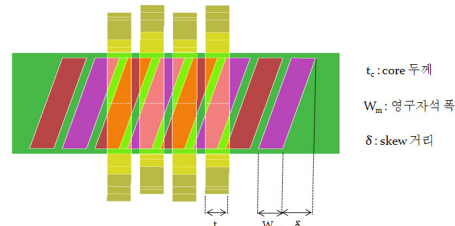
2.4 반응표면법(RSM)을 이용한 최적화 설계

영구자석의 폭, skew의 거리, 철심의 두께 세 가지의 변수 파라미터를 결정하고, 설계 파라미터 변화에 따라 추력 특성을 분석하였다. 그리고 통계적인 근사 기법으로 전기기기 설계에 있어 효과적인 반응표면법(Response Surface Method)의 기법 중 Box-Behnken법을 사용하여 목적함수인 추력을 최대화하고 설계변수의 범위를 고려하여 최적화 계산을 진행하였다[3]. 그림<7>은 최적화 알고리즘의 흐름도이다.



<그림 7> 최적화 알고리즘 흐름도

그림<8>은 TA의 철심 한 상과 가동자 영구자석의 형태를 나타낸 것이다. 설계 변수를 철심의 두께 t_c , 영구자석 폭 W_m , skew 거리 δ 로 결정하였다.

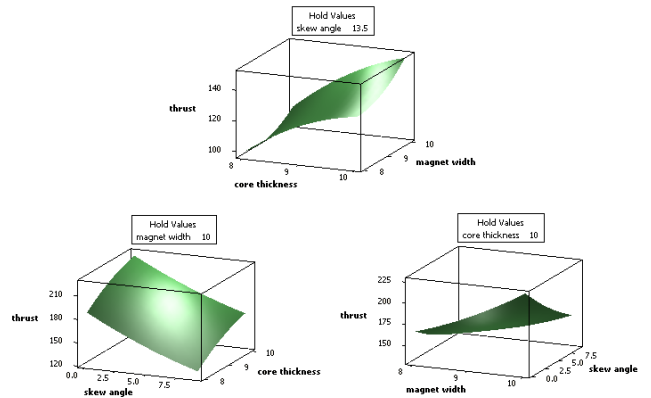


<그림 8> TA 형상의 한상에 대한 철심 및 가동자의 모델

설계 변수에 따른 추력과 코깅토크, 횡력의 변화를 통해 TA의 최적 형상을 결정하고 기존 모델과 비교하여 표<1>에 나타내었다. 그림<9>는 각 변수에 의한 추력의 변화를 나타내었다.

<표 1> 기존 모델과 최적화 모델의 비교

| Model | Tc[mm] | Wm[mm] | delta[mm] | Thrust[N] | Cogging torque[N] | Lateral force[N] |
|------------------|--------|--------|-----------|-----------|-------------------|------------------|
| Initial design | 10 | 10 | 13.5 | 107.62 | 28.24 | 4.51 |
| Optimized design | 8 | 8.75 | 5.57 | 118.12 | 26.08 | 3.47 |



<그림 9> 설계 변수에 따른 추력의 변화

최적화 형상의 3D 유한요소법 해석 결과 코깅토크는 초기 모델 형상의 28.24[N]에서 26.08[N]로, 횡력은 4.51[N]에서 3.47[N]으로 약간의 저감 효과를 확인하였다. 최적화 설계된 TA의 변위에 따른 추력 특성은 최대값 118.12[N]으로 추력이 상승한 것을 확인 하였다.

3. 결 론

본 논문에서는 TA의 형상 설계 변수에 따른 추력 특성을 분석 하였다. 최적화 설계 방법을 통한 철심의 형상을 설계하고, 최적화 설계에 따른 추력 특성 해석을 통하여 TA의 제반 특성을 저하시키는 코깅토크 및 횡력의 저감과 최대 추력의 상승 결과를 얻었다. 위 결과를 통하여 향후 터널 액추에이터의 제작 및 성능 향상, 연구 자료로 사용할 수 있다.

본 연구는 2008년 지식경제부의 지원에 의하여 기초전력 연구원(R-2008-32) 주관으로 수행된 결과임.

[참 고 문 헌]

[1] 장성명, 정상섭, 박희창, “리니어왕복운동 제어시스템 구동용 가동코 일형 리니어 액추에이터의 설계제작 및 제어성 도출”, 대한전기학회 논문지, 제48B권, 제5호, pp. 241-248, 1999.
 [2] 金弘中, 中川潤之介, 酒井慶次郎, 柴田均 “高加速度直線驅動裝置(トンネルアクチュエータ)”, (日本)応用磁氣學會誌, Vol. 29, No. 3, pp. 199-204, 2005.
 [3] 김성일, 홍정표, “반응표면법에 의한 최적설계”, 대한전기학회 전기의세계, 제54권, 제9호, pp. 24-28, 2005.