

## 700 W 급 Universal Motor의 유한요소 해석과 최적설계 방향

송혁진\*, 신태석\*, 구진호\*\*, 이동욱\*\*  
 \*홍익대학교 전기공학과, \*\* (주)계양전기 연구소 전동개발팀

### FEM analysis of 700W Universal Motor and Device to Optimal Design

Hyuk-Jin Song\*, Pan-Seok Shin\*, Jin-Ho Koo\*\*, Dong-Wook Lee\*\*  
 \*Dept. of Electrical Engineering, Hong-ik Univ., \*\*KEYANG ELECTRIC MACHINERY CO.,LTD

**Abstract** -This paper has proposed an optimized universal motor for improving its performance and cost using FEM program. To do this, various design parameters are set such as air gap length, shape of stator and pole shoe, rotor slot, rotor shaft diameter, etc. As results, the optimized model has made good improvement compared with those of the initial.

#### 1. 서 론

전동공구나 진공청소기에 많이 활용하고 있는 Universal 모터는 직류 및 교류전원에 사용이 가능하고 기동토크가 크며 제어가 간단하다는 등의 장점이 있기 때문에 많이 사용되고 있는 전동기이다. 본 연구에서는 외국제품에 비하여 성능이 좋지 않은 국내제품의 효율을 향상시키고 원가절감을 위하여 700W급 universal 모터를 선정하여 연구를 수행하였다. 유한요소 프로그램인 FLUX2D를 이용하여 현재 생산되고 있는 model을 해석하고 특성을 분석하였으며 최적설계를 하기 위하여 계자코일의 면적변화, 공극의 변화, stator pole shoe 즉 고정자의 극호각, pole shoe의 두께, 회전자내경의 크기, 회전자 치폭의 크기, 회전자 slot 개구폭의 크기, 회전자 slot 형상, 고정자 외형 등을 변화시키면서 최적의 설계조건을 찾아 보았다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 해석모델

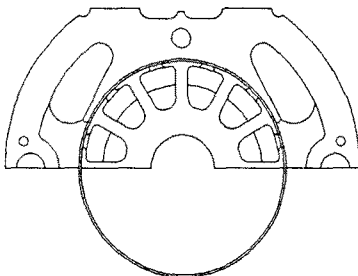


그림 1 해석 Model

그림 1은 2차원해석을 위한 700W급 universal 모터의 형상을 나타낸다. 절반(1극)만을 해석하였으며, 공극 부분은 회전운동해석을 위하여 FLUX2D에서 제공된 기능인 moving airgap 으로 전체를 나타낸 것이다. 그림 2는 해석에 사용한 core재질의 B-H curve를 나타내며, 이것은 포함제철의 RM50계열의 core를 근사화하여 modeling 하였다.

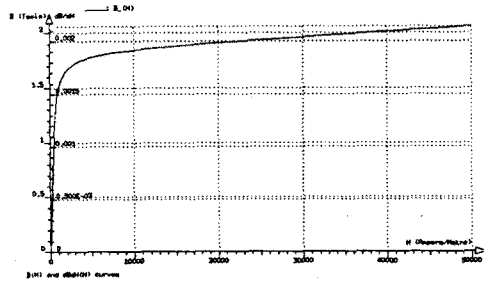


그림 2 해석에 사용된 core의 B-H curve

Universal 모터의 자계해석은 회전자와 회전을 고려하기 위하여 교류자계 해석을 하였다. 그림 3에 교류 해석에 사용한 외부회로를 나타내었다.

외부회로는 전압원과 고정자 coil, 회전자 coil 그리고 end부를 등가화 시킨 저항값과 인덕턴스값, 부하등가저항으로 구성되어 있다. 그림과 같이 전기적 회로상수를 입력하여 FEM 해석영역과 coupling함으로써 보다 정확한 자계해석이 가능하고 순간순간의 전기적 특성 분석도 가능하게 한다.

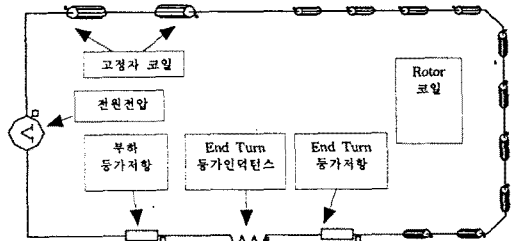


그림 3. 해석에 사용된 외부회로도

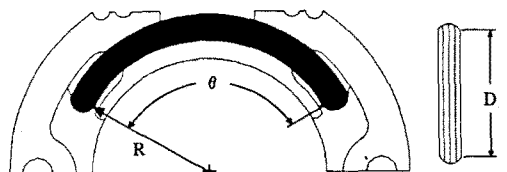


그림 4. end-winding 인덕턴스를 계산하기 위한 parameter

위 그림에서 End turn 등가인덕턴스값은 다음식을 이용하여 구할수 있다.[1]

$$L_{end} = \frac{\mu_0 N_c^2 D}{2} \ln\left(\frac{4D}{GMD} - 2\right) \quad (1)$$

여기서, 식 (1)의 각 파라미터들은 그림 4에서 보는 바와 같이 반원 end-winding의 직경  $D = R \cdot \theta$ .  $N_c$ 는 상당 turn수, GMD (geometric mean distance) =  $0.477 \sqrt{A}$ , A는 권선의 단면적이다.

## 2.2 형상변경에 따른 자계해석 결과

### 2.2.1 stator pole 각도 변경

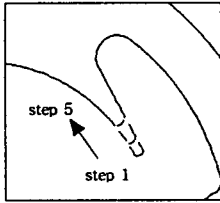


그림 5. stator pole의 각도 변경

그림 5에 나타난 것처럼 stator pole의 각도를 step 1에서부터 step 5까지 3° 씩 감소하게 하여 해석한 경우이다. 비교를 위하여 코일의 면적은 step 5일 경우로 통일하여 해석하였다.

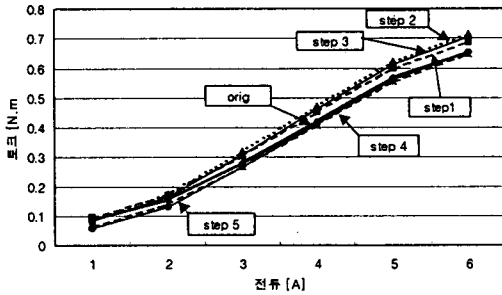
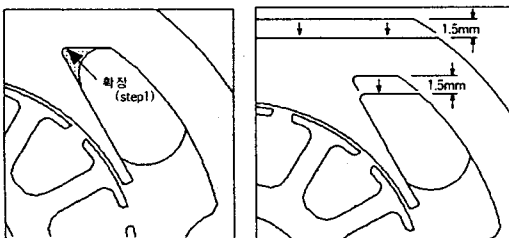


그림 6. Stator pole 각도 변경시 전류-토크곡선

이 경우 전류변화에 따른 토크의 변화를 그래프로 나타낸 것이 그림 6이다. Step 2, 즉 6° 가 감소하였을 경우가 가장 큰 토크특성을 갖는다.

### 2.2.2 Stator slot 형상의 일부 변경



(a) Model and step 1 (b) Step 2  
그림 7. Stator slot 형상일부 변경

이 경우는 원래의 형상에서 그림 7(a)와 같이 slot의 형상을 변경한 것과 step 1의 상태에서 다시 stator pole의 윗부분을 그림 7(b)처럼 1.5mm 제거한 상태를 해석한 것이다.

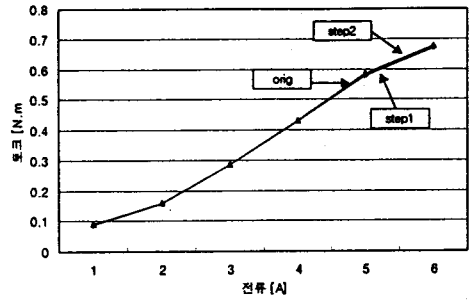


그림 8. Stator slot 형상변경시 전류-토크곡선

그림 8에서 보듯이 형상의 변화에도 불구하고 토크의 변화는 거의 없는 것으로 나타났다. Step 2의 경우가 약간 큰 결과를 보이는데 이는 자로의 축소로 인한 자기저항감소의 영향으로 볼 수 있겠다.

### 2.2.3 Rotor shaft 외경 변경

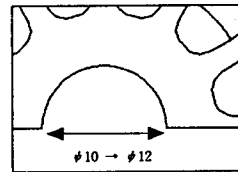


그림 9. Rotor shaft 외경변경

안전과 내구성을 위하여 rotor shaft의 이중절연이 요구되어짐에 따라 rotor의 내경이 증가해야 한다. 비교를 위하여 다른 형상의 변경없이 rotor의 내경만을 변화시켰다.

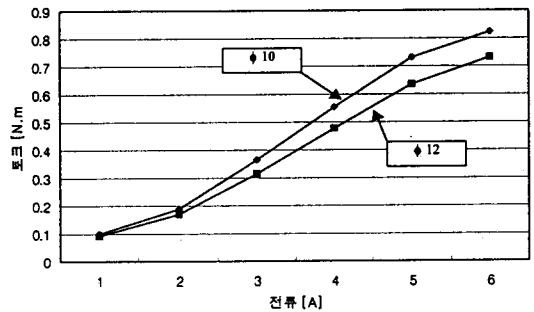


그림 10. Rotor shaft 외경변화시 전류-토크곡선

그림 10에는 그 결과를 보여준다. 회전자 내경이 12mm 일 경우는 자속의 경로가 좁아져 흐름을 방해하는 결과를 낳아 내경 10mm의 경우보다 낮은 토크 분포를 보였다.

### 2.2.4 Rotor slot 형상 변경

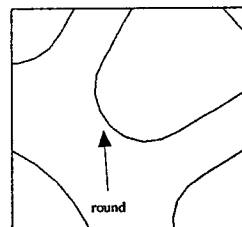


그림 11. Rotor slot 형상 일부 변경

사각형에 가까운 rotor slot의 하부를 원형으로 바꾸어

modeling 한 경우를 그림 11에서 나타내고 있다. 그림 12는 각형 slot과 원형 slot인 경우 각각의 전류-토크 곡선을 보여준다. 그림에서 보듯이 원형 slot인 경우가 조금 큰 토크 분포를 가진다.

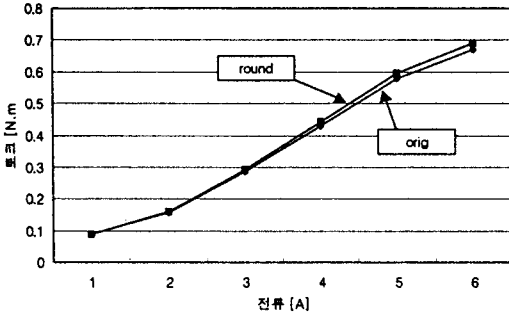


그림 12. Rotor slot 형상변경시 전류-토크곡선

### 2.2.5 Stator 쪽 일부변경

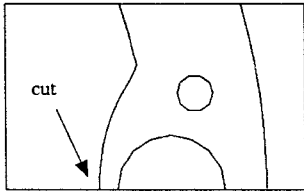


그림 13. Stator 쪽 일부변경

Stator의 폭을 그림 1의 형상에서 그림 13과 같이 변경하여 해석하였다. 다른 부분의 변화는 없고 core이 일부분을 삭제하였다.

그림 14는 이 경우의 전류-토크 곡선을 나타내는데, 자로의 폭이 일정하지 않은 이유로 자기저항이 증가하여 원래의 경우가 더 큰 토크 특성을 보인다.

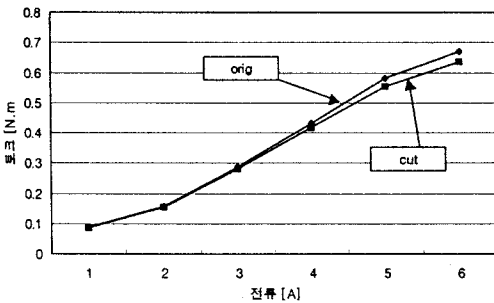


그림 14. Stator 쪽 일부 변경시 전류-토크곡선

### 2.2.6 그 밖의 변경사항

위에서 기술한 여러 가지 설계 변경사항 이외의 것은 다음과 같다. Airgap의 변화, stator pole teeth 폭 변경, rotor teeth 폭의 변경, rotor slot 입구폭 변경 등이다.

Airgap 변화시는 예상대로 공극이 길어질수록 자속밀도가 낮아지며 토크에 영향을 주게된다. Stator pole teeth 폭 변경에서는 teeth 폭이 넓을 때 토크가 약간 증가하는 결과를 보였다. Rotor teeth 폭과 rotor slot 입구폭 변화시에는 거의 토크값의 변화를 가져오지 못하였다.

### 2.3 모델의 제시

2.2절에서는 각각의 성능향상 가능성을 가진 여러 가지 parameter 들을 변화시키면서 변경된 model을 해

석하였다. 이 결과를 토대로 원래의 형상에서 가공 및 제작성을 고려하여 최적의 특성을 보이는 형상을 제시하면 다음 그림 15와 같다.

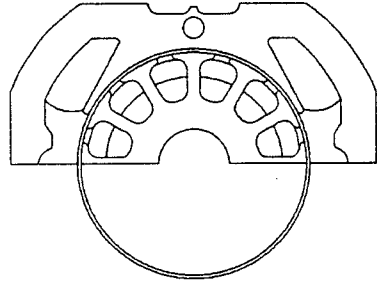


그림 15. 개선된 형상의 제시

원래의 형상과 비교할 때 변경된 사항은 고정자 slot의 안쪽부분을 좀더 깊게하여 권선작업이 용이하도록 하였으며 rotor slot의 입구폭을 증가시킴으로써 작업이 편하도록하였다. 또한, 고정자의 외경과 형상을 변화시켰으며, 고정자 pole 윗부분의 높이를 낮추었고, 좌우의 hole부분의 형상도 변경하였다. 다음의 그림 16에서는 원래의 형상과 최종제시 model과의 토크특성을 비교한 것이다.

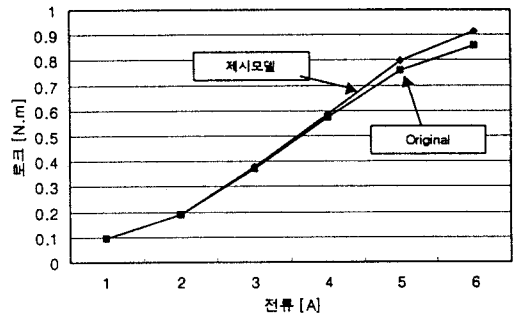


그림 16. 원래형상과 제시된 형상의 토크특성비교

비교를 위하여 모든 해석조건은 그림 1모델의 경우와 같게 가정하였다. 제시된 모델은 원래형상에 비하여 전체 core의 부피가 11% 감소하였지만 토크값은 그림 16에 보듯이 오히려 약간 증가하는 경향을 보인다.

### 3. 결 론

전동공구와 진공청소기에 많이 활용되고 있는 universal 모터의 성능개선과 원가절감을 위하여 유한 요소해석을 통하여 최적설계안을 제시하였다. 여러 가지 설계 parameter 들을 실제 제조공장에서의 생산성을 고려하여 가능한 사항만을 선택하여 변경하였다. 각각의 경우를 조합하여 최종형상을 제시하였으며, 그림 16에 보듯이 core의 부피는 약 11% 감소한 반면, 토크는 같은 조건하에서 해석한 원래의 형상에 비하여 조금 큰 값을 가진다. 이는 core 부피감소에 의한 원가절감의 효과와 약간의 효율의 향상에도 기여할 것으로 판단되며 실제 제작과 실험을 통하여 검증될 것이다.

### (참 고 문 헌)

- [1] J.R. Hendershot JR and TJE Miller, "Design of Brushless Permanent-Magnet Motors", Magna Physics Publications • Oxford Science Publication, pp.5\_59-5\_61, 1994.
- [2] A.F.Puchsterin and E.E.Kimberly, "Universal Electric Motors", The Ohio State University Columbus, 1930.