

단상 Skeleton type BLDC 모터의 특성해석

한 승도, 김 윤희, 조 관열, 신 현정  
LG전자, 디지털 어플라이언스 연구소

Analysis of Single Phase Skeleton Type BLDC Motor

S.D. Han, Y.H. Kim, K.Y. Cho, H.J. Shin,  
LG Electronics Inc. Digital Appliance Research Laboratory

**Abstract** - An analysis of the skeleton type BLDC motor is presented. The single phase skeleton type BLDC motor consists of the stator, rotor with the permanent magnet, and drive circuit with hall sensors that detect the rotor position. The major factors for the initial starting, efficiency, and torque ripples of the skeleton type BLDC motor are the detent groove of the stator and the lead angle of the phase voltage. The performance characteristics according to the angle and height of the detent groove is analyzed. The optimum lead angles of the phase voltage with the torque ripple and motor efficiency is described using the finite element method.

1. 서론

최근 전세계적으로 냉장고의 소비전력 규제가 강화됨에 따라 냉장고용 고효율 팬 모터(fan motor)의 요구가 증대되고 있다. 기존에 사용되고 있는 단상 shading pole 유도기는 높은 슬립(slip) 주파수로 인해 효율이 낮다. 최근에 낮은 전압으로 구동되는 고효율의 3상 브러쉬없는 직류전동기가 적용되고 있으나 15~20V의 DC 전원을 공급하기 위한 재료비 증대의 문제가 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 상용전원으로 구동되는 고효율의 단상 skeleton type BLDC(brushless dc) 모터의 요구가 증대되었다.

그러나 상용전원 구동 단상 BLDC 모터는 회전자제로 인한 회전 토크(torque)가 발생하지 않고 단상 교번 자계에 의하여 회전토크를 발생시켜야 되므로 초기 기동 안정성 확보와 모터의 효율향상을 위해서 모터의 코어(core) 형상, 권선사양 등의 설계가 중요하다[1~2].

본 논문에서는 유한요소법(FEM, finite element method) 해석을 통하여 skeleton type BLDC 모터의 기동특성과 관련된 detent groove의 높이와 각도가 코깅(cogging torque)과 유기전압(back-emf)에 미치는 영향을 분석하였다. 또한 주어진 사양을 만족하기 위한 고정자(stator) 코어(core)의 최적형상을 설계하였고 모터의 효율개선을 위하여 구동회로와 결합된 FEM을 이용한 전압원 해석을 통하여 고정자 코일에 인가되는 전압의 전상각(lead angle)을 최적화 하였다.

2. 본론

2.1 해석모델

그림 1은 단상 skeleton type BLDC 모터의 구조를 나타낸다. 고정자는 shading pole 유도기와 유사한 구조를 갖고 회전자는 영구자석으로 이루어져 있다. 고정자 권선의 2상으로 이루어져 있으며 회전자의 위치를 검출하기 위한 홀센서(hall sensor)를 사용하고 회전자의 위치에 따라 고정자 권선에 전압을 인가한다. 그림 2는 단상 skeleton type BLDC 모터의 회전자 위치에 따른 토크를

나타낸다. 그림 2는 상용 프로그램인 FLUX-2D를 이용하여 모터에서 발생하는 토크성분을 분리, 해석한 것으로, skeleton type BLDC 모터의 토크는 전자기(electro-magnetic) 토크와 코깅토크(cogging torque)로

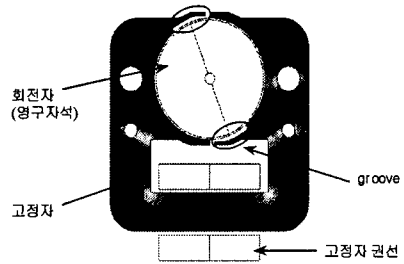


그림 1 단상 skeleton type BLDC 모터

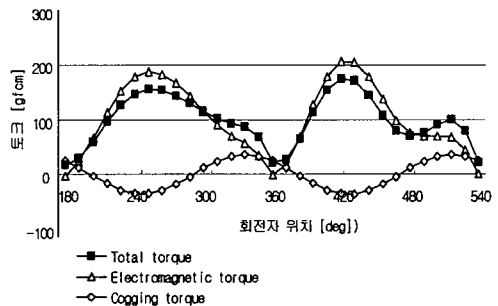


그림 2 단상 skeleton type BLDC motor의 torque profile

구성되어 있다. 코깅토크는 회전자의 영구자석(permanent magnet)과 유효공극(effective air-gap)의 변화에 의해 발생하며 회전자의 초기기동 토크로써 이용할 수 있다. 본 논문에서는 코깅토크의 주요인자로 detent groove의 형상을 선정하였고 전자기토크(electro-magnetic torque)의 주요인자로 권선의 통전시점(lead angle)에 따른 전기적 특성을 분석하여 최적의 통전시점

표 1 모터 주요사양

전원	단상 AC220V, 60Hz
정격토크	100gfcm
정격회전수	2,200rpm
권선사양	Φ0.15, 3,200turn
상 저항	176ohm
상 인덕턴스	238mH

을 제시하였다. 표1은 skeleton type BLDC 모터의 주요 사양을 나타낸다.

### 2.2 Detent groove angle별 전기적 특성 해석

Detent groove의 각도가 모터의 코깅토크 및 유기전압에 미치는 영향을 분석하기 위하여 detent groove의 각도를 0~60도까지 변화시켜 가면서 코깅토크와 유기전압을 분석하였다. 그림 3은 detent groove 각도별 코깅토크 및 유기전압을 나타내고 그림 4는 groove각도별 등자속선을 나타낸다. 그림 3에 나타난 바와 같이 detent groove 각도가 증가함에 따라 회전자의 초기 align 위치는 증가하며(대략 detent groove 각도의 1/2) 코깅토크의

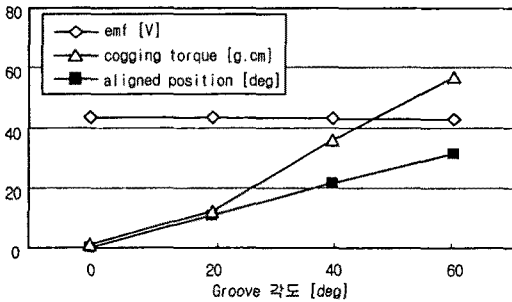


그림 3 Groove angle 변화에 따른 전기적 특성

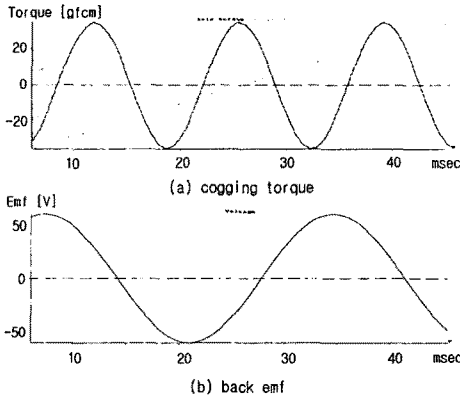


그림 4. Groove 각도=40도 일때의 Cogging Torque, back emf

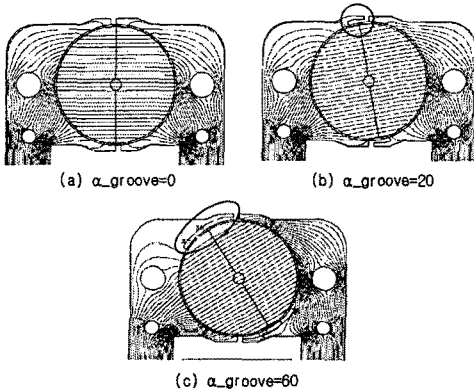


그림 3 Groove 각도별 등자속선도

크기는 비례적으로 증가하며 유기전압은 거의 변화하지 않음을 알 수 있다. 그림 4에 나타난 바와 같이 회전자의 등자속선도는 초기 align 위치에 직각방향으로 형성되며 detent groove의 각도가 커짐에 따라 회전방향으로 더 치우치게 된다. 그림 5는 detent groove의 각도가 40도(기계각)일 때 회전자가 반시계 방향(CCW)으로 회전시 발생되는 코깅토크와 유기전압을 나타낸다.

그림 6은 detent groove의 각도가 40도일 때 분할되어 조립되는 고정자코어의 끼워 맞춤부의 간극변화에 따른 특성 해석 결과를 나타낸다. 고정자코어의 끼워 맞춤부의 간극 및 공극(air gap)의 편심등의 실제의 조립조건에 따라 유기전압 및 코깅토크가 크게 변화함을 알 수 있으며 특히 끼워 맞춤부의 간극이 일정수준 이상일 경우 초기 회전자의 align 위치가 90도 이상으로 증가함으로써 기동 특성의 저하를 가져올 수 있음을 보여 주고 있다.

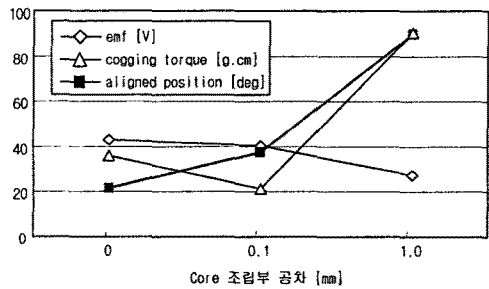


그림 6 Core 맞춤부 간극치수별 특성

### 2.3 Detent groove 높이별 특성 해석

Detent groove 각도가 40도일때 detent groove 높이를 0~1.725mm로 변화시켜 가면서 detent groove 높이가 코깅토크와 유기전압에 미치는 영향을 해석하였다. 그림 7은 detent groove 높이에 따른 모터특성을 나타내며 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) Detent groove의 높이가 커짐에 따라 코깅토크의 크기는 비례적으로 증가하나 초기 align 위치는 detent groove의 높이가 일정수준 이상이 되면 변화가 거의 없다.
- 2) Detent groove 높이에 따른 유기전압의 크기변화는 거의 없다.
- 3) Detent groove의 각도와 높이를 조절함으로써 코깅토크의 크기와 위상을 독립적으로 조정 가능하다.

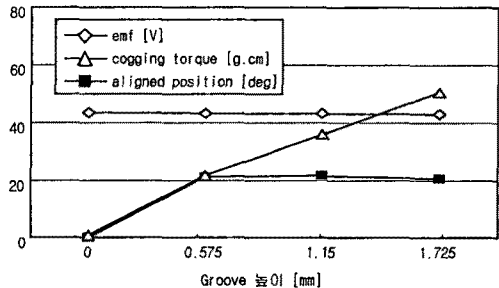


그림 7. Groove 높이별 모터특성

그림 8은 detent groove 높이별 등자속선도를 나타낸다. 이상의 해석결과에서 기동안정성을 확보하기 위한 detent groove의 최적치는 40도 부근, detent groove 높이는 1.15mm 정도가 적합함을 알 수 있다.

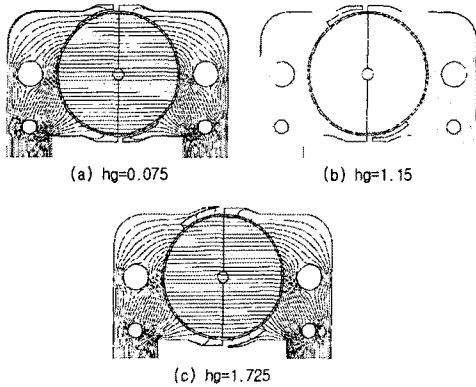


그림 8 Groove 높이별 등 자속선도

## 2.4. Lead Angle별 특성해석

단상 skeleton type BLDC 모터의 구동회로의 특성을 고려한 시변전압원 FEM 해석을 통하여 모터에 인가되는 전압의 진상각(lead angle)에 따른 모터의 전기적 특성을 해석하였다. 진상각은 코깅토크와 유기전압의 위상과 크기가 고정된

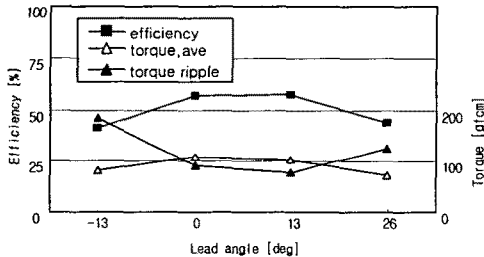


그림 9 Lead angle별 특성해석

상태에서 고정자 권선에 흐르는 전류의 도통각을 조절하여 전자기토크(electro-magnetic torque)의 크기와 위상을 조정하는 기능을 한다. 그림 9에 나타난 바와 같이 진상각이 1~13도일 때 모터의 효율 및 토크리플(torque ripple)이 가장 양호한 특성을 나타낸다. 그림 10은 진상각에 따른 모터의 토크 및 토크리플을 나타낸다. 그림 10에 나타난 바와 같이 진상각이 13도일 때 가장 토크리플이 작고 소음진동에 유리하다.

## 3. 결론

본 논문에서는 상용전원 구동용 단상 skeleton type BLDC 모터의 groove 형상과 전압의 진상각에 따른 모터의 특성을 전자계 유한요소법을 이용하여 해석하였다. 또한 groove 형상 및 진상각의 최적조합의 형상을 설계함으로써 초기기동 안정성 확보 및 고효율 특성을 갖는 모터의 설계변수를 제시하였다.

### [참 고 문 헌]

[1] T.J.E. Miller and J.R. Hendershot Jr., "Design of Brushless Permanent-Magnet Motors", MAGNA PHYSICS PUBLISHING AND CLARENDON PRESS OXFORD, 1994.

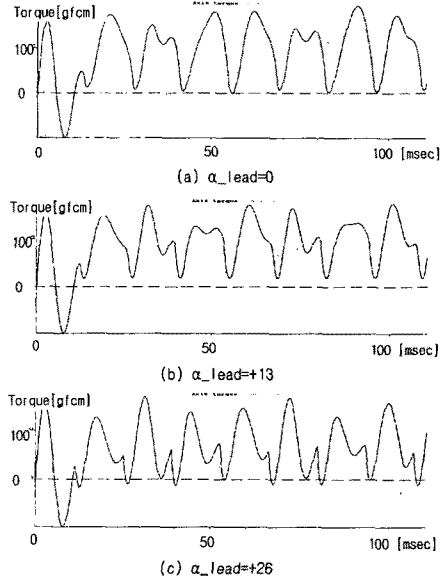


그림 10 Lead angle별 토크

[2] S.A. NASAR, I. BOLDEA, and L.E. UNNEWEHR, "Permanent Magnet, Reluctance, and Self-Synchronous Motors", CRC Press, 2000.